



日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 6 月 2 5 日
Date of Application:

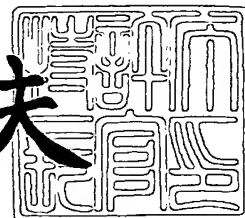
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 1 8 1 7 3 1
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 1 8 1 7 3 1]

出 願 人 株 式 会 社 東 芝
Applicant(s):

2 0 0 3 年 7 月 1 8 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 APB033006

【提出日】 平成15年 6月25日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/00
H01L 21/302

【発明の名称】 処理装置、製造装置、処理方法及び電子装置の製造方法

【請求項の数】 34

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝
 横浜事業所内

 【氏名】 須黒 恭一

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝
 横浜事業所内

 【氏名】 井谷 孝治

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝
 横浜事業所内

 【氏名】 伊藤 貴之

【特許出願人】

 【識別番号】 000003078

 【氏名又は名称】 株式会社 東芝

【代理人】

 【識別番号】 100083806

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 三好 秀和

 【電話番号】 03-3504-3075

【選任した代理人】

【識別番号】 100068342

【弁理士】

【氏名又は名称】 三好 保男

【選任した代理人】

【識別番号】 100100712

【弁理士】

【氏名又は名称】 岩▲崎▼ 幸邦

【選任した代理人】

【識別番号】 100100929

【弁理士】

【氏名又は名称】 川又 澄雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100108707

【弁理士】

【氏名又は名称】 中村 友之

【選任した代理人】

【識別番号】 100095500

【弁理士】

【氏名又は名称】 伊藤 正和

【選任した代理人】

【識別番号】 100101247

【弁理士】

【氏名又は名称】 高橋 俊一

【選任した代理人】

【識別番号】 100098327

【弁理士】

【氏名又は名称】 高松 俊雄

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 001982

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 処理装置、製造装置、処理方法及び電子装置の製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板に処理を実施する処理室と、

前記処理室内に配置され、前記基板を載置して 650℃以下の加熱を行うための加熱源を備えた表面が石英製のサセプタと、

実質的に前記基板表面と平行に少なくとも酸化ガス、窒化ガス、還元ガス及びハロゲンを含むガスのいずれかを供給する導入系と、

前記処理室の上部に前記サセプタに対向して配置される石英製の透明窓と、

前記透明窓から前記基板表面に 0.1 m秒～200 m秒のパルス幅の光を照射して加熱する複数の発光波長を有する光源

とを備えることを特徴とする処理装置。

【請求項 2】 前記光源が、5～100 J/cm²の照射エネルギー密度の光を照射するフラッシュランプ又は複数のレーザ光源であることを特徴とする請求項 1 に記載の処理装置。

【請求項 3】 前記処理が、少なくとも前記酸化ガス及び前記窒化ガスのいずれかを用いる絶縁膜の形成であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の処理装置。

【請求項 4】 前記光源の発光波長領域に紫外線成分を含むことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の処理装置。

【請求項 5】 前記処理が、少なくとも前記酸化ガス及び前記窒化ガスのいずれかを用いる絶縁膜の形成に先立って、少なくとも前記還元ガス及び前記ハロゲンを含むガスのいずれかを用いて自然酸化膜を除去する工程を含む処理であることを特徴とする請求項 4 に記載の処理装置。

【請求項 6】 基板を収納するウェーハカセットを設置する第 1 のカセット室と、

前記第 1 のカセット室が接続され、前記基板を搬送する搬送ロボットを有する搬送室と、

前記搬送室に接続されて前記基板に第 1 の処理を実施する第 1 の処理室、前記

第1の処理室内に配置されて前記搬送ロボットにより搬送された前記基板を載置する第1のサセプタ、前記基板表面に第1のガスを供給する第1の導入配管、前記第1の処理室の上部に配置される第1の透明窓、前記第1の透明窓から前記基板表面に0.1m秒～200m秒のパルス幅の光を照射して加熱する複数の発光波長を有する第1の光源を設けた第1の処理装置と、

前記搬送ロボットにより前記第1の処理装置から搬送された前記基板を収納する他のウェーハカセットを設置する第2のカセット室

とを備えることを特徴とする製造装置。

【請求項7】 前記第1の光源が、 $5 \sim 100 \text{ J/cm}^2$ の照射エネルギー密度の光を照射することを特徴とする請求項6に記載の製造装置。

【請求項8】 前記第1の処理が、前記第1のガスとして少なくとも酸化ガス及び窒化ガスのいずれかを用いる第1の絶縁膜の形成であることを特徴とする請求項6又は7に記載の製造装置。

【請求項9】 前記搬送室に接続されて前記基板に第2の処理を実施する第2の処理室、前記第2の処理室内に配置されて前記搬送ロボットにより搬送された前記基板を載置する第2のサセプタ、前記基板表面に第2のガスを供給する第2の導入配管、前記第2の処理室の上面に配置される第2の透明窓、前記第2の透明窓から前記基板表面に光を照射して加熱する複数の発光波長を有する第2の光源を有する第2の処理装置が更に設置されていることを特徴とする請求項6～8のいずれか1項に記載の製造装置。

【請求項10】 前記第2の光源が、0.1m秒～200m秒のパルス幅で、 $5 \sim 100 \text{ J/cm}^2$ の照射エネルギー密度の光を照射することを特徴とする請求項6～9のいずれか1項に記載の製造装置。

【請求項11】 前記第2の処理が前記第2のガスとして少なくとも酸化ガス及び窒化ガスの一つを用いる第2の絶縁膜の形成であることを特徴とする請求項6～10のいずれか1項に記載の製造装置。

【請求項12】 前記第1の光源の発光波長領域に紫外線成分を含むことを特徴とする請求項6又は7に記載の製造装置。

【請求項13】 前記第1の処理が、前記第1のガスとして少なくとも還元

ガス及びハロゲンを含むガスのいずれかを用いて自然酸化膜を除去する前処理であることを特徴とする請求項 12 に記載の製造装置。

【請求項 14】 処理室のサセプタ上に載置された基板に少なくとも酸化ガス及び窒化ガスのいずれかを含むガスを導入し、

前記基板表面を 0.1 m 秒～200 m 秒のパルス幅のパルス状に加熱して少なくとも酸化及び窒化のいずれかの処理を実施する

ことを含むことを特徴とする処理方法。

【請求項 15】 前記加熱が、 $5 \sim 100 \text{ J/cm}^2$ の照射エネルギー密度の光の照射によることを特徴とする請求項 14 に記載の処理方法。

【請求項 16】 前記光の照射が、複数回行われることを特徴とする請求項 15 に記載の処理方法。

【請求項 17】 前記光は、発光波長領域に紫外線成分を含むことを特徴とする請求項 15 に記載の処理方法。

【請求項 18】 前記処理が、前記ガスを導入する前に、少なくとも還元ガス及びハロゲンを含むガスのいずれかを用いて自然酸化膜を除去する前処理の後に実施されることを特徴とする請求項 17 に記載の処理方法。

【請求項 19】 前記基板の表面温度がパイロメータで測定して $950 \sim 1200^\circ\text{C}$ の範囲に加熱されることを特徴とする請求項 14～18 のいずれか 1 項に記載の処理方法。

【請求項 20】 前記基板上部に開口部を有するステンシルマスクを合わせて前記処理を選択的に行うことを特徴とする請求項 14～19 のいずれか 1 項に記載の処理方法。

【請求項 21】 前記基板の一部に、ハロゲン、酸素及び窒素のうちいずれかを導入して前記処理を行うことを特徴とする請求項 14～19 のいずれか 1 項に記載の処理方法。

【請求項 22】 基板にウェット洗浄を実施し、
前記基板を第 1 の処理装置の第 1 のサセプタ上に載置し、
前記第 1 のサセプタ上に載置された前記基板に第 1 のガスを導入し、
前記基板表面を 0.1 m 秒～200 m 秒のパルス幅のパルス状に加熱して少な

くとも酸化及び窒化のいずれかの第1の処理を実施することを含むことを特徴とする電子装置の製造方法。

【請求項23】 前記第1の処理の加熱が、 $5 \sim 100 \text{ J/cm}^2$ の照射エネルギー密度の第1の光の照射によることを特徴とする請求項22に記載の電子装置の製造方法。

【請求項24】 前記第1の処理が、前記第1のガスとして少なくとも酸化ガス及び窒化ガスのいずれかを用いる第1の絶縁膜の形成であることを特徴とする請求項22又は23に記載の電子装置の製造方法。

【請求項25】 前記第1の光の照射が、複数回行われることを特徴とする請求項23に記載の電子装置の製造方法。

【請求項26】 前記基板の表面温度がパイロメータで測定して $950 \sim 1200^\circ\text{C}$ の範囲に加熱されることを特徴とする請求項22～25のいずれか1項に記載の電子装置の製造方法。

【請求項27】 前記第1の処理が施された基板を第2の処理装置の第2のサセプタ上に載置し、

前記第2のサセプタ上に載置された前記基板に第2のガスを導入し、

前記基板表面を加熱して第2の処理を実施する

ことを更に含むことを特徴とする請求項22～26のいずれか1項に記載の電子装置の製造方法。

【請求項28】 前記第2の処理の加熱が、 $0.1 \text{ m秒} \sim 200 \text{ m秒}$ のパルス幅で、 $5 \sim 100 \text{ J/cm}^2$ の照射エネルギー密度の第2の光の照射によることを特徴とする請求項27に記載の電子装置の製造方法。

【請求項29】 前記第2の処理が前記第2のガスとして少なくとも酸化ガス及び窒化ガスのいずれかを用いる第2の絶縁膜の形成であることを特徴とする請求項27又は28に記載の電子装置の製造方法。

【請求項30】 前記第2の光の照射が、複数回行われることを特徴とする請求項28に記載の電子装置の製造方法。

【請求項31】 前記第1の光は、発光波長領域に紫外線成分を含むことを特徴とする請求項23に記載の電子装置の製造方法。

【請求項 3 2】 前記第 1 の処理が、前記第 1 のガスとして少なくとも還元ガス及びハロゲンを含むガスのいずれかを用いて自然酸化膜を除去する前処理であることを特徴とする請求項 3 1 に記載の電子装置の製造方法。

【請求項 3 3】 前記第 2 の光の照射により前記基板の表面温度がパイロメータで測定して 950～1200℃の範囲に加熱されることを特徴とする請求項 2 7～3 0 のいずれか 1 項に記載の電子装置の製造方法。

【請求項 3 4】 前記第 2 の処理の加熱が、複数の発光波長を有する光源の照射で行われることを特徴とする請求項 3 2 に記載の電子装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、電子装置の製造工程における表面加工処理を行う処理装置、特に加熱ランプを用いて薄い絶縁膜を形成する製造装置、処理方法及び電子装置の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

大規模集積回路（LSI）は、性能向上のため、ますます大規模化し、素子の微細化もさらに勢いを増して進んできている。金属・絶縁膜・半導体電界効果トランジスタ（MISFET）を用いる場合、閾値電圧を制御しつつMISFETを微細化するためには、ゲート長を短縮するのに伴ってゲート絶縁膜の電気的な厚さを薄くすることが必要であり、薄いゲート絶縁膜の形成技術と最適化が極めて重要となっている。特に、シリコン酸化膜（SiO₂膜）の膜厚に換算した実効酸化膜厚（EOT）として2nm以下の薄いゲート絶縁膜を形成する技術の重要性が増してきている。

【0003】

例えば、シリコン（Si）等の半導体基板に対してEOTが2nm以下の極薄のSiO₂膜や酸窒化（SiO_xN_y、以下SiONと記す）膜を形成する方法として、急速熱酸化（RTO）等が用いられている（例えば、特許文献1及び特許文献2参照）。また、2nm以下の極薄絶縁膜の形成方法として、500℃以下

の低温で酸素ラジカル (O^*) や酸素イオンを用いる試みがなされている。

【0004】

【特許文献1】

米国特許第5966594号明細書(第6-7頁、第1A図)

【0005】

【特許文献2】

特開平6-349821号公報(第2-3頁、第3図)

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

通常ハロゲンランプを用いたRTOでは、昇温及び降温速度が遅く、例えば1000℃程度の高温の酸化温度では、2nm以下の極薄絶縁膜を再現性良く形成することが困難である。また、酸素ラジカル (O^*) や酸素イオンを用いて低温で形成したSiON膜では、例えば、EOTが1nm、電界が4.5MV/cmで100A/cm²というリーク電流密度の高い絶縁膜しか得られない。

【0007】

通常Si半導体基板の熱酸化工程では、まず希釈した弗酸(HF)や弗化アンモニウム(NH₄F)等のウエット処理により、Si半導体基板表面の自然酸化膜を除去する。しかし、熱酸化を行う前に大気中で0.5nmから1nmの厚さの自然酸化膜が形成される。また、ウエット処理後に自然酸化膜が形成されないように最短時間でSi半導体基板をランプアニール装置に設置しても、酸化温度に達する前に雰囲気中の酸素(O₂)やO₂と水素(H₂)の混合ガス、又は水蒸気(H₂O)等の酸化ガスにより0.5nmから1nmの酸化膜が形成される。

【0008】

Si半導体基板表面に形成される自然酸化膜は、電気的特性は劣るが、例えば1050℃以上に加熱すれば熱酸化膜と同等の電気的特性に改善される。したがって、RTOでは、電気的特性の良好な熱酸化膜が形成できるが、熱酸化工程前に形成された自然酸化膜のため、2nm以下の厚さの制御は極めて困難となる。

【0009】

本発明は、このような課題を解決し、電気的特性が良好な極薄絶縁膜を形成す

ることができる処理装置、製造装置、処理方法及び電子装置の製造方法を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明の第1の態様は、(イ)基板に処理を実施する処理室と、(ロ)処理室内に配置され、基板を載置して650℃以下の加熱を行うための加熱源を備えた表面が石英製のサセプタと、(ハ)実質的に基板表面と平行に少なくとも酸化ガス、窒化ガス、還元ガス及びハロゲンを含むガスのいずれかを供給する導入系と、(ニ)処理室の上部にサセプタに対向して配置される石英製の透明窓と、(ホ)透明窓から基板表面に0.1m秒～200m秒のパルス幅の光を照射して加熱する複数の発光波長を有する光源とを備える処理装置であることを要旨とする。

【0011】

本発明の第2の態様は、(イ)基板を収納するウェーハカセットを設置する第1のカセット室と、(ロ)第1のカセット室が接続され、基板を搬送する搬送ロボットを有する搬送室と、(ハ)搬送室に接続されて基板に第1の処理を実施する第1の処理室、第1の処理室内に配置されて搬送ロボットにより搬送された基板を載置する第1のサセプタ、基板表面に第1のガスを供給する第1の導入配管、第1の処理室の上部に配置される第1の透明窓、第1の透明窓から基板表面に0.1m秒～200m秒のパルス幅の光を照射して加熱する複数の発光波長を有する第1の光源を有する第1の処理装置と、(ニ)搬送ロボットにより第1の処理装置から搬送された基板を収納する他のウェーハカセットを設置する第2のカセット室とを備える製造装置であることを要旨とする。

【0012】

本発明の第3の態様は、(イ)処理室のサセプタ上に載置された基板に少なくとも酸化ガス及び窒化ガスのいずれかを含有するガスを導入し、(ロ)基板表面を0.1m秒～200m秒のパルス幅のパルス状に加熱して少なくとも酸化及び窒化のいずれかの処理を実施することを含む処理方法であることを要旨とする。

【0013】

本発明の第4の態様は、(イ)基板にウェット洗浄を実施し、(ロ)基板を第1の処理装置の第1のサセプタ上に載置し、(ハ)第1のサセプタ上に載置された基板に第1のガスを導入し、(ニ)基板表面を0.1m秒～200m秒のパルス幅のパルス状に加熱して少なくとも酸化及び窒化のいずれかの第1の処理を実施することを含む電子装置の製造方法であることを要旨とする。

【0014】

【発明の実施の形態】

以下図面を参照して、本発明の第1及び第2の実施の形態について説明する。以下の図面の記載において、同一または類似の部分には同一または類似の符号が付してある。但し、図面は模式的なものであり、厚みと平面寸法との関係、各層の厚みの比率等は現実のものとは異なることに留意すべきである。したがって、具体的な厚みや寸法は以下の説明を参酌して判断すべきものである。また図面相互間においても互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれていることは勿論である。

【0015】

(第1の実施の形態)

本発明の第1の実施の形態に係る処理装置は、図1に示すように、半導体基板等の基板1に処理を実施する処理室11と、処理室11内に配置され、基板1を載置するサセプタ12と、基板1表面にガスを供給する導入配管17と、処理室11からガスを排気する排気配管18と、処理室11の上部にサセプタ12に対向して配置される透明窓15と、透明窓15から基板1表面をパルス状に光照射する光源36とを備えている。

【0016】

処理室11は、例えばステンレススチール等の金属製である。基板1を載置するサセプタ12は、処理室11の底部に垂直に設置された支持軸14の上部に配置されている。サセプタ12には、アルミニウムナイトライド(AlN)、セラミックスあるいは石英等が用いられ、サセプタ12の内部に基板1を加熱する加熱源13が備えられている。サセプタ12としては、アルミニウムナイトライド(AlN)、セラミックスあるいはステンレススチール等の表面を石英で保護し

たものでもよい。加熱源 13 としては、ニクロム線等の埋め込み金属ヒータや加熱ランプ等が用いられ、処理室外部に設置されている制御システム（図示省略）により温度制御が行われる。支持軸 14 は、制御システムによりサセプタ 12 を回転させることも可能である。

【0017】

また、処理室 11 の側面及び底面の内壁には、酸化あるいは腐食防止のための石英等の保護部材 16 が設置されている。処理室 11 の側面の上方には、導入配管 17 と排気配管 18 とがほぼ対向して接続されている。導入配管 17 には、基板 1 を処理する各種のガス源を備える導入系 38 が接続されている。

【0018】

更に、処理室 11 の上部には、基板 1 表面をパルス状に光照射して加熱するフラッシュランプ等の光源 36 が、合成石英等の透明窓 15 を介して配置されている。光源 36 には、光源 36 を極短パルス状に駆動するパルス電源等の光源電源 39 が接続されている。透明窓 15 は、基板 1 を照射する光源 36 の出射光を透過させると共に、処理室 11 を光源 36 から隔離して気密保持の働きもする。

【0019】

第 1 の実施の形態の光源 36 に使用しているフラッシュランプによる加熱の温度プロファイルは、図 2 に示すように、ハロゲンランプ等の赤外線ランプに比べて急峻な温度上昇と温度降下が得られる。なお、温度測定には、光束パイロメータを使用し、基板 1 の表面温度を測定している。例えば、ハロゲンランプ光では、500℃～1050℃間の昇降温時間は 10 秒以上、例えば約 15 秒である。その上、950℃～1050℃の 100℃間の昇／降温時間が 2～3 秒必要である。一方、フラッシュランプ光では、450℃～1200℃間の昇降温時間は、0.1 m 秒～200 m 秒、好ましくは 0.5 m 秒～50 m 秒の間である。昇／降温時間が 0.1 m 秒では、最高到達温度が 950℃以下となり、200 m 秒以上では、後述する極薄絶縁膜の形成が困難となるためである。第 1 の実施の形態のフラッシュランプ光では、図 3 に示すように、450℃～1050℃間の昇降温時間は、約 5 m 秒である。また、950℃～1050℃の 100℃間の昇／降温時間は、例えば約 1 m 秒である。したがって、第 1 の実施の形態によれば、基板

1 に対して、例えば酸化等の高温での表面加工処理を極短時間で実施することができるため、極薄絶縁膜の形成が可能になる。

【0020】

第1の実施の形態に係る絶縁膜の形成方法の一例として、熱酸化膜 (SiO_2 膜) を Si 半導体基板 1 に形成する場合を用いて説明する。例えば、ウェット処理により自然酸化膜を除去した基板 1 を図 1 のサセプタ 12 に装着する。 Si 半導体基板 1 に導入系 38 から導入配管 17 を通して窒素 (N_2) あるいはアルゴン (Ar) 等の不活性ガスを供給しながら、サセプタ 12 の加熱源 13 により予備加熱を行い、 Si 半導体基板 1 に付着した水分や空気成分をパージする。予備加熱は 100°C から 700°C まで加熱可能であるが、予備加熱の温度は 200°C ~ 650°C の範囲であればよい。 200°C ~ 650°C の根拠は、 200°C 未満ではフラッシュランプの照射エネルギーが大きくなりすぎて、半導体基板に結晶欠陥が発生するためであり、 650°C を超えると処理室内の酸化剤 (酸化ガス) の存在により、フラッシュランプ照射以前に Si 半導体基板 1 表面に $0.5 \sim 1 \text{ nm}$ の酸化膜が形成されてしまうためである。第1の実施の形態では、予備加熱温度として 400°C ~ 550°C を用いている。次に、サセプタ 12 上で予備加熱された Si 半導体基板 1 の表面に導入系 38 から導入配管 17 を通して O_2 、水蒸気 (H_2O) あるいは酸化窒素 (NO) 等の酸化性ガスを供給し、光源 36 により 1050°C の加熱を行い、 Si 半導体基板 1 の表面に熱酸化膜を形成する。光源 36 から供給される照射光のエネルギー密度は、例えば、 $5 \text{ J/cm}^2 \sim 100 \text{ J/cm}^2$ 、好ましくは $20 \text{ J/cm}^2 \sim 30 \text{ J/cm}^2$ である。また、フラッシュランプ光の照射時間は約 1 m 秒としている。

【0021】

図 4 に成長した酸化膜厚をエリプソメータで測定した結果を示す。第1の実施の形態では、 Si 半導体基板 1 表面を希釈した弗酸で処理した後に純水リンスを行い、乾燥後直ちに処理室 11 に装着しているが、ランプ加熱前にはすでに略 0.5 nm の自然酸化膜が形成されている。図 4 に示すように、光源 36 の照射回数に対して、酸化膜厚が $0.1 \text{ nm} \sim 0.14 \text{ nm}$ の層単位で段階的に増加している。したがって、第1の実施の形態によれば、 2 nm 以下の熱酸化膜が再現性

良く形成することができる。

【0022】

第1の実施の形態において、例えば、SiON膜を形成する場合は、導入系38から酸化性ガスと共にN₂ガス、アンモニア(NH₃)あるいは活性な窒素(N)を含む化合物ガス等の窒化ガスをSi半導体基板1上に供給すればよい。酸化ガス及び窒化ガスを流しながら、光源36により、例えば1050℃に加熱すると、Si半導体基板1表面にSiON膜が形成される。また、更に熱酸化膜あるいはSiON膜の上に窒素添加ハフニウムシリケート(HfSiNO、Hf:Si:N:Oの原子比は、例えば1:0.5:0.1:2.9)等の高誘電率絶縁膜を設けてもよい。HfSiNO膜を形成する場合は、熱酸化膜あるいはSiON膜を形成後、Si半導体基板1を化学気相成長(CVD)装置に装着して、例えばO₂ガス、Siアルコキシドガス及びHfアルコキシドガスを流して堆積する。

【0023】

図5には、第1の実施の形態に係る絶縁膜の形成方法で形成したSiO₂膜及びSiON膜のEOTに対するリーク電流J_gの関係が実線で示されている。また、比較のために、500℃以下の低温で形成したSiO₂膜及びSiON膜のリーク電流J_gが点線で示されている。第1の実施の形態に係る絶縁膜の形成方法では、Si半導体基板1に形成された自然酸化膜は、光源36により1050℃まで加熱される。自然酸化膜は、約1000℃以上の高温処理により膜質が改善され、熱酸化膜のリーク電流J_gと同程度の特性となる。例えば、EOT=1nmでは、図5に示すように、低温形成SiO₂膜及びSiON膜のリーク電流J_gは、10000A/cm²、及び100A/cm²であるのに対して、第1の実施の形態に係る形成方法によるSiO₂膜及びSiON膜では、100A/cm²、及び1A/cm²とリーク電流J_gが約2桁低下している。更に、HfSiNO膜を積層したSiON膜のリーク電流J_gは、EOT=0.7nmでも1mA/cm²と、更に低いリーク電流J_gが得られる。

【0024】

第1の実施の形態に係る処理装置によれば、電気的特性の良好な極薄絶縁膜を

再現性良く形成することができる。

【0025】

(第2の実施の形態)

本発明の第2の実施の形態に係る製造装置は、図6に示すように、基板1が載置される第1のサセプタ12aを配置した第1の処理室11aを有する第1の処理装置21、及び、基板1aが載置される第2のサセプタ12bを配置した第2の処理室11bを有する第2の処理装置22とが、搬送室30にそれぞれゲートバルブ34a及びゲートバルブ34bとを介して接続されている。第1及び第2の処理室11a、11bには、導入系38から各種のガスを導入する第1及び第2の導入配管17a、17bが接続されている。搬送室30には、基板1、1aを収納したウェーハカセットを設置する第1のカセット室10と、第1あるいは第2の処理装置21、22で処理された基板1、1aを収納するウェーハカセットを設置する第2のカセット室20が接続されている。また、搬送室30の内部には、基板1、1aを、第1及び第2のカセット室10、20と第1及び第2の処理室11、21とのそれぞれの間において搬送を行う複数の搬送ロボット31が回転軸33に配置されている。複数の搬送ロボット31は、伸縮可能なアームを有し、回転軸33の回りを回転して、それぞれ個別に各室間の搬送を行うことが可能である。ここで、第1及び第2のカセット室10、20は、前面ドア付きポッド(FOUP)あるいは標準メカニカルインターフェース(SMIF)等の局所クリーン化技術を用いたポッド開閉ユニットであつてもよい。

【0026】

第1の処理装置21は、図7に示すように、基板1に第1の表面加工処理を実施する第1の処理室11aと、第1の処理室11a内に配置され、基板1を載置する第1のサセプタ12aと、基板1表面にガスを供給する第1の導入配管17aと、第1の処理室11aからガスを排気する第1の排気配管18aと、第1の処理室11aの上部に第1のサセプタ12aに対向して配置される第1の透明窓15aと、第1の透明窓15aから基板1表面を光照射する第1の光源36aとを備えている。第2の処理装置22は、図8に示すように、基板1に第2の表面加工処理を実施する第2の処理室11bと、第2の処理室11b内に配置され、

基板 1 を載置する第 2 のサセプタ 12 b と、基板 1 表面にガスを供給する第 2 の導入配管 17 b と、第 2 の処理室 11 b からガスを排気する第 2 の排気配管 18 b と、第 2 の処理室 11 b の上部に第 2 のサセプタ 12 b に対向して配置される第 2 の透明窓 15 b と、第 2 の透明窓 15 b から基板 1 表面を光照射する第 2 の光源 36 b とを備えている。このように、第 2 の実施の形態で用いる第 1 及び第 2 の処理装置 21、22 は、第 1 の実施の形態の処理装置と同様の構成であり、重複した説明は省略する。

【0027】

第 2 の実施の形態に係る製造装置では、第 1 及び第 2 の光源 36 a、36 b は、いずれもパルス状に光照射して基板 1 の表面温度を急速に、例えば 0.5 m 秒～50 m 秒の間で昇降温ができるフラッシュランプである。したがって、第 1 あるいは第 2 の処理室 11 a、11 b に酸化ガスあるいは窒化ガスを流しながら基板 1 表面にフラッシュランプ光を照射して、例えば 1050℃ に加熱すれば、電気的特性が良好な EOT が 2 nm 以下の極薄の絶縁膜の形成が可能となる。

【0028】

ここで、第 2 の実施の形態では、複数の搬送ロボット 31 により複数の基板 1、1 a をそれぞれ第 1 及び第 2 の処理室 11 a、11 b に搬送して、第 1 及び第 2 の処理装置 21、22 で同様の処理を並行して実施してもよい。あるいは、基板 1 に対して、例えば第 1 の表面加工処理を第 1 の処理室 11 a で行い、次いで搬送ロボット 31 により第 2 の処理室 11 b へ搬送して第 2 の表面加工処理を実施してもよい。また、第 2 の表面加工処理を第 2 の処理室 11 b で先に実施し、次いで第 1 の表面加工処理を第 1 の処理室 11 a で実施してもよいことは勿論である。

【0029】

次に、第 2 の実施の形態により、Si 半導体基板 1 表面に SiON/SiO 膜を形成する方法を、図 9～図 11 を用いて説明する。

【0030】

(イ) 図 6 に示した第 1 のカセット室 10 に、ウェット洗浄により自然酸化膜が除去された基板 1 を収納したウェーハカセットを設置する。Si 半導体基板 1

は、搬送ロボット 31 により第 1 のカセット室 10 から搬送室 30 を介して第 1 の処理室 11 a に搬送される。なお、Si 半導体基板 1 は搬送される前にオリエンテーションを示すノッチ又はオリエンテーションフラットの位置を $\pm 5^\circ$ 以内の一定方向に制御してから搬送した方がプロセスの安定化には望ましい。

【0031】

(ロ) 第 1 の処理室 11 a に搬送された Si 半導体基板 1 は第 1 のサセプタ 12 a の上に載置され、図 7 に示した加熱源 13 により予備加熱される。予備加熱時には、 N_2 又は Ar 等の不活性ガスを供給し、Si 半導体基板 1 表面層に付着した水分や大気成分をパージする。予備加熱は、 $200^\circ\text{C} \sim 500^\circ\text{C}$ の間である。なお、Si 半導体基板 1 の表面には、図 9 に示すように、予備加熱前あるいは予備加熱中に新たに約 0.5 nm の厚さの自然酸化膜 3 が形成されている。

【0032】

(ハ) 予備加熱温度が $\pm 5^\circ\text{C}$ 以内に安定化した後に、 O_2 または H_2O 又は NO 等の酸化ガスが Si 半導体基板 1 の表面に供給される。酸化ガスを供給しながら、Si 半導体基板 1 の上方から光源 36 に備え付けられた第 1 の光源 36 a を点灯し、Si 半導体基板 1 を約 1 m 秒の間光照射して約 1050°C に加熱する。第 1 の光源 36 a による所定の照射回数後に、図 10 に示すように、約 1.5 nm の厚さの熱酸化膜の第 1 の絶縁膜 4 が形成される。

【0033】

(ニ) 次に、Si 半導体基板 1 は搬送ロボット 31 を用いて、第 1 の処理室 11 a から第 2 の処理室 11 b に移載される。搬送された Si 半導体基板 1 は第 2 のサセプタ 12 b 上で、所望の温度、例えば $400^\circ\text{C} \sim 450^\circ\text{C}$ に予備加熱される。予備加熱時には、 N_2 又は Ar 等の不活性ガスを供給する。

【0034】

(ホ) 予備加熱温度が安定したら、Si 半導体基板 1 表面に N_2 、 NH_3 あるいは活性な窒素を含む化合物ガスを Si 半導体基板 1 の表面に供給する。その後、第 2 の光源 36 b を点灯し、Si 半導体基板 1 を、例えば約 1 m 秒間光照射し、約 1050°C に加熱する。第 2 の光源 36 b の照射加熱処理により、第 1 の絶縁膜 4 の表面層が窒化される。その結果、図 11 に示すように、Si 半導体基板 1

に、例えば約1nmの厚さの熱酸化膜の第1の絶縁膜4aの上に約0.4nmの厚さのSiON膜の第2の絶縁膜5が形成される。形成された第1及び第2の絶縁膜4a、5からなるSiON/SiO₂膜のEOTは、約1.8nmである。

【0035】

(へ) 絶縁膜形成処理の完了したSi半導体基板1は搬送ロボット31によりウェーハカセットのある第2のカセット室20に搬送される。

【0036】

ここで、第1の処理室11aで酸化処理、第2の処理室11bで窒化処理を実施しているが、Si半導体基板1を移動せず、第1あるいは第2の処理室11a、11bで酸化ガスから窒化ガスに切り替えることにより酸化処理及び窒化処理を連続して実施してもよい。

【0037】

上述のように、第2の実施の形態に係る絶縁膜の形成方法によれば、電気的特性が良好なEOTが2nm以下の極薄絶縁膜を形成することが可能となる。

【0038】

(第2の実施の形態の第1の変形例)

本発明の第2の実施の形態の第1の変形例に係る絶縁膜の形成方法は、図12に示すように、Siやシリコンカーバイド(SiC)等で作製したステンシルマスク9を基板1上に設置してフラッシュランプ光FL、FLmを照射して、絶縁膜を形成する。ステンシルマスク9の開口部9a以外の部分を照射するフラッシュランプ光FLmは、基板1に入射しない。一方、開口部9aを照射するフラッシュランプ光FLは、サセプタ12に設置された基板1の開口部9aに対応する部分に入射して局所的に基板1を加熱することができる。例えば、酸化ガスを流しながら、フラッシュランプ光FLを開口部9aを介して基板1を照射して約1050℃に加熱すれば熱酸化膜の絶縁膜6が選択的に形成される。このように、第2の実施の形態の第1の変形例は、ステンシルマスク9を用いて、ステンシルマスク9の開口部9aに対応する領域に極薄の絶縁膜6を選択的に形成する点が第2の実施の形態と異なる。その他の点は第2の実施の形態と同様であるので、重複した記載は省略する。

【0039】

第2の実施の形態の第1の変形例では、ステンシルマスク9は予め、図6に示した搬送室30に保管されている。ステンシルマスク9は、例えば、図7に示した第1の処理室11aに搬送ロボット31によりマスクホルダ（図示省略）に装着される。基板1は、ステンシルマスク9と $10\mu\text{m}$ ～数 $100\mu\text{m}$ 離してサセプタ12aに載置される。サセプタ12a上で光学式位置合せ器（図示省略）により位置合せを行い、基板1の所定の領域に絶縁膜6を形成する。なお、ステンシルマスク9の保管場所は、搬送室30でなく、例えば、搬送室30に接続された保管室等であってもよいことは勿論である。

【0040】

第2の実施の形態の第1の変形例に係る絶縁膜の形成方法を用いると、Si半導体基板1の表面に部分的に厚さの異なる絶縁膜を形成することができる。図13～図15を用いて、Si半導体基板1の一部の領域に厚さの異なる絶縁膜を形成する方法を説明する。

【0041】

(イ) まず、図13に示すように、ステンシルマスク9と素子分離絶縁膜8a～8dが形成されたSi半導体基板1を図6に示した第1の処理室11aに載置する。絶縁膜を厚く形成する領域、例えば素子分離絶縁膜8b、8cの間の領域にステンシルマスク9の開口部9aを合わせる。

【0042】

(ロ) 第1の処理室11aに酸化ガスを流しながらステンシルマスク9の開口部9aを介してSi半導体基板1にフラッシュランプ光を照射する。図14に示すように、フラッシュランプ光照射により局所的に加熱された素子分離絶縁膜8b、8cの間の領域に熱酸化膜の絶縁膜6aが選択的に形成される。

【0043】

(ハ) 次に、搬送ロボット31により第1の処理室11aからステンシルマスク9を搬出する。その後、酸化ガスを流しながら、Si半導体基板1の全面にフラッシュランプ光を照射する。その結果、図15に示すように、素子分離絶縁膜8b、8c間に絶縁膜6aより厚い第1の絶縁膜6bが形成される。また、素子

分離絶縁膜 8 a、8 b 間、及び素子分離絶縁膜 8 c、8 d 間には、第 1 の絶縁膜 6 b より薄い第 2 の絶縁膜 7 a、7 b が形成される。

【0044】

第 2 の実施の形態に係る第 1 の変形例によれば、厚さが異なる極薄絶縁膜層を Si 半導体基板 1 の所望の領域に形成することができる。

【0045】

(第 2 の実施の形態の第 2 の変形例)

本発明の第 2 の実施の形態の第 2 の変形例に係る絶縁膜の形成方法では、第 2 の実施の形態の第 1 の変形例と同様に、厚さが異なる極薄絶縁膜層を基板 1 の所望の領域に形成する。第 2 の実施の形態の第 1 の変形例では、ステンスルマスク 9 を用いているが、第 2 の実施の形態の第 2 の変形例では、ステンスルマスク 9 を用いずに基板 1 の一部の領域にドーピング層を形成して厚さが異なる極薄絶縁膜を形成する点異なる。他の点は第 2 の実施の形態の第 1 の変形例と同様であるので、重複する記載は省略する。

【0046】

Si 半導体層では、フッ素 (F)、塩素 (Cl)、臭素 (Br) や碘素 (I) 等のハロゲン元素あるいは酸素等のドーピング層は、熱酸化速度が増速される。したがって、Si 半導体基板 1 にハロゲン元素あるいは酸素等のドーピング層を局所的に形成して、フラッシュランプ光を照射して加熱すれば、厚さの異なる極薄絶縁膜の形成が可能となる。第 2 の実施の形態の第 2 の変形例に係る絶縁膜の形成方法を、図 16 ～図 18 を用いて説明する。

【0047】

(イ) まず、図 16 に示すように、素子分離絶縁膜 8 a ～ 8 d が形成された Si 半導体基板 1 の表面にフォトレジストを塗布し、フォトリソグラフィ工程により素子分離絶縁膜 8 b、8 c の間の領域に合わせて開口部 2 a を有するレジスト膜 2 が形成される。

【0048】

(ロ) Si 半導体基板 1 に対してレジスト膜 2 の開口部 2 a を用いて、図 17 に示すように、素子分離絶縁膜 8 b、8 c の間の領域に F、Cl、Br や I 等の

ハロゲン元素あるいは酸素等をイオン注入又はプラズマドーピングにより $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} \sim 5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ の範囲で Si 半導体基板 1 の表面層にドーピングしたドーピング層 41 が形成される。

【0049】

(ハ) 次に、第 1 のカセット室 10 にドーピング層 41 が形成された Si 半導体基板 1 をセットし、搬送ロボット 31 により第 1 の処理室 11a のサセプタ 12a に搬送する。その後、酸化ガスを流しながら、Si 半導体基板 1 の全面にフラッシュランプ光を照射する。その結果、図 18 に示すように、素子分離絶縁膜 8b、8c 間のドーピング層 41 には第 1 の絶縁膜 44 が形成される。また、素子分離絶縁膜 8a、8b 間、及び素子分離絶縁膜 8c、8d 間には、第 1 の絶縁膜 44 より薄い第 2 の絶縁膜 45a、45b が形成される。

【0050】

第 2 の実施の形態に係る第 2 の変形例によれば、厚さが異なる極薄絶縁膜層を Si 半導体基板 1 の所望の領域に形成することができる。

【0051】

また、ドーパントとしてハロゲン元素や酸素の代わりに窒素を用いると、窒素のドーピング層の熱酸化速度が遅くなる。したがって、窒素を用いてドーピング層を局所的に形成すれば、窒素をドーピングしていない領域に比べて、ドーピング層の領域に薄い熱酸化膜を形成することができる。

【0052】

(第 3 の実施の形態)

本発明の第 3 の実施の形態に係る製造装置は、図 19 に示すように、第 1 の処理装置 21a と、第 2 の処理装置 22a とを備えている。第 2 の実施の形態では、図 6 の第 1 及び第 2 の処理装置 21、22 は共に絶縁膜形成に使用されている。第 3 の実施の形態では、第 1 の処理装置 21a では基板 1 表面の自然酸化膜を除去する前処理を行い、第 2 の処理装置 22a で絶縁膜形成処理を行う点が、第 2 の実施の形態と異なる。他の点は第 2 の実施の形態と同様であるので、重複した記載は省略する。

【0053】

第1の処理装置21aでは、第1のサセプタ12aに載置された基板1表面の自然酸化膜除去を行う前処理ガスが導入系38から供給される。前処理ガスとしては、例えば、 H_2 ガス、 H_2 を含む混合ガス、あるいは H_2 を含む化合物ガス等の還元ガス、あるいは H_2O とフッ化水素（HF）ガスの組み合わせ、キセノンフロライド（XeF）等の不活性ガスとハロゲンガスの組み合わせ等の反応性ガス等が使用可能である。自然酸化膜除去の前処理に、例えば H_2 を含む還元ガスを用いる場合は、 H_2 を水素ラジカル H^* 又はイオン H^+ 等に活性化する。 H^* 又は H^+ 等は自然酸化膜と容易に反応して除去することができる。第3の実施の形態では、図20に示すように、第1の光源36cとして、 H_2 を励起する紫外線を含む波長領域、例えば200nm～800nmの波長領域を有するフラッシュランプを用いて、パルス状のフラッシュランプ照射による H_2 の活性化反応を促進している。

【0054】

第1のサセプタ12cには、石英等が用いられ、内部に基板1を加熱する加熱源13を備えている。サセプタ12としては、AlN、セラミックスあるいはステンレススチール等の表面を石英で保護したものでもよい。なお、反応性ガスとして、ハロゲンを含むガスを用いる場合は、セラミックスや4フッ化エチレン樹脂（PTFE）等のハロゲンに耐性を有する材料を用いてもよい。第1のサセプタ12cにPTFEを用いる場合は使用温度は300℃以下とする。

【0055】

第2の処理装置22aは、図21に示すように、絶縁膜形成のための第2の光源36dを有している。第2の光源36dとしては、例えばパルス状の光照射加熱を行うフラッシュランプが使用されている。

【0056】

第3の実施の形態に係る製造装置によれば、基板1の自然酸化膜除去の前処理を実施して、絶縁膜を形成することができるため、2nm以下の極薄絶縁膜の形成が制御性良く可能となる。

【0057】

第3の実施の形態に係る絶縁膜の形成方法を、図22～図24を用いて説明す

る。

【0058】

(イ) まず、図19に示した第1のカセット室10に、ウェット洗浄により自然酸化膜が除去されたSi半導体基板1を収納したウェーハカセットを設置する。Si半導体基板1は、搬送ロボット31により搬送室30を介して第1のカセット室10から第1の処理装置21aの第1の処理室11aに搬送される。

【0059】

(ロ) 第1の処理室11aに搬送されたSi半導体基板1は、図20に示す第1のサセプタ12cの上に載せられ、加熱源13により予備加熱される。200℃以上650℃以下の予備加熱時には、N₂又はAr等の不活性ガスを供給し、Si半導体基板1表面層に付着した水分や大気成分をパージする。200℃以上650℃以下の根拠は、200℃未満ではフラッシュランプの照射エネルギーが大きくなりすぎて、半導体基板に結晶欠陥が発生するためであり、650℃を超えると処理室内の酸化剤（酸化ガス）の存在により、フラッシュランプ照射以前にSi半導体基板1表面に0.5～1nmの酸化膜が形成されてしまうためである。なお、Si半導体基板1の表面には、図22に示すように、予備加熱前あるいは予備加熱中に新たに約0.5nmの厚さの自然酸化膜3が形成されている。

【0060】

(ハ) 予備加熱温度が±5℃以内に安定化した後に、H₂ガス又はH₂を含む混合ガス等の還元ガスをSi半導体基板1の表面に供給して、Si半導体基板1の表面の前処理を行う。前処理では、還元ガスを供給しながら、Si半導体基板1の上方から光源36に備え付けられた第1の光源36cを点灯し、Si半導体基板1を約0.5m秒～50m秒の間フラッシュランプ光を照射して約900℃～1200℃に加熱する。第3の実施の形態では、第1の光源36cの点灯時間は、約1m秒で、Si半導体基板1の表面温度は、パイロメータで測定して約1100℃となる。第1の光源36cに含まれる紫外線成分により、H₂ガスが活性化され、H^{*}やH⁺等が生成される。生成されたH^{*}又はH⁺等は、加熱された自然酸化膜3と反応して自然酸化膜3を分解除去し、図23に示すように、Si半導体基板1の表面が露出される。H₂ガスの代わりにF、Cl、Br、Iなどのハ

ロゲンを含むガス（例えば、HF、F₂、ArF、KrF、XeF、HCl、Cl₂、HBr、HI、I₂）をSi半導体基板1表面に供給して、自然酸化膜3を除去しても良い。

【0061】

(二) 次に、前処理が実施されたSi半導体基板1は搬送ロボット31により、第1の処理室11aから第2の処理装置22aの第2の処理室11bに移載される。搬送されたSi半導体基板1は第2のサセプタ12b上で、例えば300℃～550℃に予備加熱される。予備加熱時には、N₂又はAr等の不活性ガスが供給される。

【0062】

(ホ) 予備加熱温度が安定したら、Si半導体基板1表面に酸化ガスをSi半導体基板1の表面に供給する。その後、第2の光源36dを点灯し、Si半導体基板1を、例えば照射エネルギー密度20～30 J/cm²で約1m秒間照射し、約1050℃に加熱する。第1の光源36aの照射加熱処理により、Si半導体基板1の表面層が熱酸化される。第2の光源36dの照射回数を、例えば4回とした結果、図24に示すように、Si半導体基板1に、例えば約0.5nmの厚さの絶縁膜46が形成される。

【0063】

(ヘ) 絶縁膜形成処理の完了したSi半導体基板1は搬送ロボット31により処理が終了したSi半導体基板1を収納するウェーハカセットのある第2のカセット室20に搬送される。

【0064】

第3の実施の形態では、第1の処理室11aで、絶縁膜形成前に予めSi半導体基板1に形成された自然酸化膜3を除去する前処理を行っている。したがって、第2の処理室で実施する酸化処理において、図25に示すように、フラッシュランプ光の照射回数に対して酸化膜厚はほぼ0から、0.1nm～0.14nmの層単位で段階的に成長する関係となっている。このように、第2の実施の形態によれば、0.5nm以下の極薄絶縁膜の形成も可能となる。

【0065】

ここで、Si 半導体基板 1 に対して、第 2 の処理室 11 b で酸化処理を実施しているが、第 2 の処理室 11 b で窒化処理を更に追加して実施して SiON 膜を形成してもよいことは勿論である。

【0066】

また、第 3 の実施の形態では、自然酸化膜 3 が除去された Si 半導体基板 1 表面に絶縁膜を形成することができる。たとえば、第 2 の処理室 11 b の第 2 の光源 36 d として、ハロゲンランプ等の赤外線ランプを用いても、電気的特性が良好な EOT が 1 nm 程度の極薄絶縁膜の形成が可能となる。

【0067】

上述のように、第 3 の実施の形態に係る絶縁膜の形成方法によれば、電気的特性が良好な EOT が 1 nm 以下の極薄絶縁膜を再現性良く形成することが可能となる。

【0068】

次に、第 3 の実施の形態に係る絶縁膜の形成方法を適用した電子装置の製造方法として、金属・酸化膜・半導体電界効果トランジスタ (MOSFET) の製造工程を、図 26 のフローチャート及び図 27～図 33 の工程断面図を用いて説明する。

【0069】

(イ) まず、例えば p 型単結晶シリコン等の Si 半導体基板 1 に、図 26 のステップ S80 で、シャロートレンチ素子分離 (STI) 等からなる素子分離絶縁膜 8 を形成する。そして、素子分離絶縁膜 8 の間の Si 半導体基板 1 の表面領域に、ダミーとなる厚さ約 10 nm の犠牲酸化膜 50 を熱酸化法で形成する (図 27)。

【0070】

(ロ) ステップ S81 で、フォトリソグラフ工程とイオン注入工程を組み合わせを行い、ウェル不純物及びチャネル不純物をウェル領域およびチャネル領域へイオン注入し、第 1 のイオン注入層 51 及び第 2 のイオン注入層 52 を導入する (図 28)。イオン注入条件は、例えば、p チャネル MOSFET に対しては、ウェル領域に n 型ドーパントのリン (P) を 400～500 keV で 2×10^{13}

～ $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 注入し、続いてチャネル領域に P を $200 \sim 300 \text{ keV}$ で $1 \times 10^{13} \sim 1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 注入する。n チャネル MISFET に対しては、ウェル領域に p 型ドーパントのホウ素 (B) を $200 \sim 300 \text{ keV}$ で $1 \times 10^{13} \sim 1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 注入し、続いてチャネル領域に B を $100 \sim 200 \text{ keV}$ で $1 \times 10^{13} \sim 1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 注入する。

【0071】

(ハ) イオン注入後、ステップ S 8 2 で、ハロゲンランプアニール装置により約 $1000 \sim 1100^\circ\text{C}$ で約 $10 \sim 20$ 秒のアニール処理を行い、第 1 及び第 2 のイオン注入層 5 1、5 2 に導入された不純物原子を拡散させると同時に活性化させる。そのようにして、ウェル 5 3 が形成される (図 2 9)。その後、ステップ S 8 3 で、犠牲酸化膜 5 0 を HF 等でエッチングし、Si 半導体基板 1 を清浄な硫酸と過酸化水素水混合溶液あるいは希弗酸水溶液に浸漬して洗浄する。洗浄工程後、Si 半導体基板 1 はウェーハカセットに設置され、図 1 9 の製造装置のカセット室に装着される。

【0072】

(ニ) 次に、ステップ S 8 4 で、Si 半導体基板 1 は、搬送室 3 0 の搬送ロボット 3 1 により図 2 0 の第 1 の処理室 1 1 a の第 1 のサセプタ 1 2 c 上に載置され、前処理が実施される。不活性ガスを流しながら、加熱源 1 3 により約 $200^\circ\text{C} \sim 500^\circ\text{C}$ で予備加熱を行う。その後、Si 半導体基板 1 表面に H_2 を含む還元ガスを流しながら、第 1 の光源 3 6 c による光照射を行う。フラッシュランプ照射の条件は、例えば Si 半導体基板 1 表面での照射エネルギー密度 $20 \sim 30 \text{ J} / \text{cm}^{-2}$ で約 1 m 秒間照射し、約 1050°C に加熱する。第 1 の光源 3 6 c の紫外線成分により還元ガス中の H_2 がラジカル化し、高温に加熱された Si 半導体基板 1 表面の自然酸化膜を分解除去する (図 3 0)。また、イオン注入時に Si 半導体基板 1 に導入された結晶欠陥のうち活性化アニールにより完全には修復されていない結晶欠陥が残っていても、第 1 の光源 3 6 c による加熱処理により結晶性を更に回復させることが可能となる。その結果、自然酸化膜がなく、かつイオン注入時に導入された結晶欠陥が低減された清浄な Si 半導体基板 1 の表面を得ることができる。

【0073】

(ホ) ステップS85で、Si半導体基板1は、搬送ロボット31により第1の処理室11aから第2の処理室11bの第2のサセプタ12bに載置される。第2の処理室11bにO₂ガスなどの酸化ガスを流し、第2の光源36dによりフラッシュランプ光を、例えば8回照射して約2nmの厚さの酸化膜54を形成する(図31)。

【0074】

(ヘ) 酸化膜54を形成した後、搬送ロボット31によりSi半導体基板1は第2の処理室11bから第2のカセット室20のウェーハカセットに収納される。次に、Si半導体基板1は、ステップS86で、CVD装置に装着されポリシリコン膜を成膜し、フォトリソグラフィ及びドライエッチング技術を用いて、素子分離絶縁膜8の間の領域の中央部にゲート電極56及びゲート酸化膜55を形成する。

【0075】

(ト) ステップS87で、イオン注入技術を用いて、ゲート電極56をマスクとしてウェル53の表面領域に、ウェル53に導入された不純物とは反対導電型の不純物を導入する。その後、ランプアニール装置より加熱処理を行って注入した不純物を活性化させてソース/ドレイン領域57a、57bを形成する(図32)。

【0076】

(チ) ステップS88で、CVD法等により厚膜絶縁膜を堆積し、フォトリソグラフィとドライエッチング技術を用いて、ゲート電極56及びソース/ドレイン領域57a、57bの上に開口部を有する層間絶縁膜58を形成する。その後、スパッタリング法等により層間絶縁膜58の間の開口部にアルミニウム(A1)等の金属を埋め込み、ゲート電極56及びソース/ドレイン領域57a、57b上にコンタクト電極59a~59cを形成してMOSFETを完成させる(図33)。

【0077】

このようにして製造したMOSFETのゲート酸化膜の信頼性を評価した。例

例えば、ゲート電極に電圧を -11 V ～ -10 V 印加しつつけた場合のゲート絶縁破壊に至る時間を測定する。その結果から、ゲート電極に -3 V 印加して使用した場合の絶縁破壊に至る時間を外挿して予想絶縁破壊寿命を見積もる。破壊に至る時間が長いほど信頼性が良い。

【0078】

図26のステップS84の前処理工程だけを異なる方法により実施して製造したMOSFETと比較する。ゲート酸化膜の厚さは、全て約 2 nm である。第3の実施の形態によるMOSFETでは、予想絶縁破壊寿命は約15年であり、高信頼性を実現できる。それに対して、例えば、還元ガスを流しながら、赤外線ランプ照射により加熱して前処理工程を行ったMOSFETでは、予想絶縁破壊寿命は約7年である。赤外光では還元ガスの活性化ができないため、自然酸化膜の分解効率が低い。また、還元ガスを流しながらほぼ常温で紫外線を照射して前処理を行ったMOSFETでは、予想絶縁破壊寿命は約8年である。常温で紫外線を照射をする場合は、半導体基板表面温度が低いため、活性化したガスとの反応効率が低減する。

【0079】

第3の実施の形態では、第2の処理室11bで酸化ガスを流してフラッシュランプ光により極薄酸化膜を形成しているが、NOガス、あるいは二窒化酸素(N_2O)ガス等の窒化ガスを用いてSiON膜を形成してもよいことは勿論である。また、ゲート絶縁膜として、SiON膜やHfSiON/SiON複合膜等を用いて、MISFETを製造しても、同様の効果が得られることは勿論である。更に、第2の処理室11bで、フラッシュランプに代えて複数のレーザ光源(200 nm から 900 nm の間の少なくとも2種類以上の波長のレーザ光源の組み合わせ)又は赤外線ランプ加熱装置等により、例えば 950°C ～ 1200°C 加熱処理することによりゲート絶縁膜を形成してもよいが、高温短時間という観点からはフラッシュランプまたは複数のレーザ光源の方が赤外線ランプよりもより高温で加熱可能なため、より良好な膜質の絶縁膜が形成できる。第3の実施の形態においては、絶縁膜形成直前に前処理工程で自然酸化膜を除去することができるため、EOTが 1 nm 程度の極薄絶縁膜の形成が可能となる。

【0080】

(その他の実施の形態)

上記のように、本発明は第1～第3の実施の形態によって記載したが、この開示の一部をなす論述及び図面はこの発明を限定するものであると理解すべきではない。この開示から当業者には様々な代替実施の形態、実施例及び運用技術が明らかとなろう。

【0081】

第1～第3の実施の形態において、Si半導体基板を用いる場合を説明したが、基板1はSi半導体基板に限定されず、シリコンゲルマニウム(SiGe)、シリコンゲルマニウムカーボン(SiGeC)等のIV族混晶半導体基板、ガリウムヒ素(GaAs)、ガリウムリン(GaP)、インジウムヒ素(InAs)、インジウムリン(InP)、ガリウムナイトライド(GaN)等のIII-V族化合物半導体基板、あるいはジンクセレン(ZnSe)等の-Ⅵ族化合物半導体基板でもよく、更には、縁体基板や金属基板等でもよいことは勿論である。また、電子装置としては、MOSあるいはMISFET等の半導体装置に限定されず、液晶表示装置、磁気記憶装置やその読み取り用ヘッド、弾性表面波素子等でもよいことは勿論である。

【0082】

また、第1～第3の実施の形態に係る処理室あるいは製造装置では、ほぼ大気圧で処理を行っている。しかし、処理圧力は大気圧に限定されず、例えば、真空ポンプを第1及び第2の処理室に接続して、大気圧よりやや低い微減圧から50kPa程度の減圧でもよいことは勿論である。

【0083】

このように、本発明はここでは記載していない様々な実施の形態等を含むことは勿論である。したがって、本発明の技術的範囲は上記の説明から妥当な特許請求の範囲に係る発明特定事項によってのみ定められるものである。

【0084】**【発明の効果】**

本発明によれば、電気的特性が良好な極薄絶縁膜を形成することができる処理

装置、製造装置、処理方法及び電子装置の製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 の実施の形態に係る処理装置の一例を示す概略図である。

【図 2】

本発明の第 1 の実施の形態に係る処理装置の加熱ランプと通常の赤外線ランプの加熱特性の比較を示す図である。

【図 3】

本発明の第 1 の実施の形態に係る処理装置の加熱ランプの加熱特性の一例を示す図である。

【図 4】

本発明の第 1 の実施の形態に係る処理装置で形成した絶縁膜の厚さと加熱ランプ照射回数との関係の一例を示す図である。

【図 5】

本発明の第 1 の実施の形態に係る製造装置で形成した絶縁膜のリーク電流と実効酸化膜厚との関係の一例を示す図である。

【図 6】

本発明の第 2 の実施の形態に係る製造装置の一例を示す概略図である。

【図 7】

本発明の第 2 の実施の形態に係る第 1 の処理装置の一例を示す概略図である。

【図 8】

本発明の第 2 の実施の形態に係る第 2 の処理装置の一例を示す概略図である。

【図 9】

本発明の第 2 の実施の形態に係る処理方法を説明する工程断面図（その 1）である。

【図 10】

本発明の第 2 の実施の形態に係る処理方法を説明する工程断面図（その 2）である。

【図 11】

本発明の第 2 の実施の形態に係る処理方法を説明する工程断面図（その 3）である。

【図 1 2】

本発明の第 2 の実施の形態の第 1 の変形例に係る処理方法の一例を説明する図である。

【図 1 3】

本発明の第 2 の実施の形態の第 1 の変形例に係る処理方法を説明する工程断面図（その 1）である。

【図 1 4】

本発明の第 2 の実施の形態の第 1 の変形例に係る処理方法を説明する工程断面図（その 2）である。

【図 1 5】

本発明の第 2 の実施の形態の第 1 の変形例に係る処理方法を説明する工程断面図（その 3）である。

【図 1 6】

本発明の第 2 の実施の形態の第 2 の変形例に係る処理方法を説明する工程断面図（その 1）である。

【図 1 7】

本発明の第 2 の実施の形態の第 2 の変形例に係る処理方法を説明する工程断面図（その 2）である。

【図 1 8】

本発明の第 2 の実施の形態の第 2 の変形例に係る処理方法を説明する工程断面図（その 3）である。

【図 1 9】

本発明の第 3 の実施の形態に係る製造装置の一例を示す概略図である。

【図 2 0】

本発明の第 3 の実施の形態に係る第 1 の処理装置の一例を示す概略図である。

【図 2 1】

本発明の第 3 の実施の形態に係る第 2 の処理装置の一例を示す概略図である。

【図 2 2】

本発明の第 3 の実施の形態に係る処理方法を説明する工程断面図（その 1）である。

【図 2 3】

本発明の第 3 の実施の形態に係る処理方法を説明する工程断面図（その 2）である。

【図 2 4】

本発明の第 3 の実施の形態に係る処理方法を説明する工程断面図（その 3）である。

【図 2 5】

本発明の第 3 の実施の形態に係る処理方法で形成した絶縁膜の厚さと加熱ランプ照射回数関係の一例を示す図である。

【図 2 6】

本発明の第 3 の実施の形態に係る電子装置の製造方法の一例を説明するフローチャートである。

【図 2 7】

本発明の第 3 の実施の形態に係る電子装置の製造方法の一例を説明する工程断面図（その 1）である。

【図 2 8】

本発明の第 3 の実施の形態に係る電子装置の製造方法の一例を説明する工程断面図（その 2）である。

【図 2 9】

本発明の第 3 の実施の形態に係る電子装置の製造方法の一例を説明する工程断面図（その 3）である。

【図 3 0】

本発明の第 3 の実施の形態に係る電子装置の製造方法の一例を説明する工程断面図（その 4）である。

【図 3 1】

本発明の第 3 の実施の形態に係る電子装置の製造方法の一例を説明する工程断

面図（その 5）である。

【図 3 2】

本発明の第 3 の実施の形態に係る電子装置の製造方法の一例を説明する工程断面図（その 6）である。

【図 3 3】

本発明の第 3 の実施の形態に係る電子装置の製造方法の一例を説明する工程断面図（その 7）である。

【符号の説明】

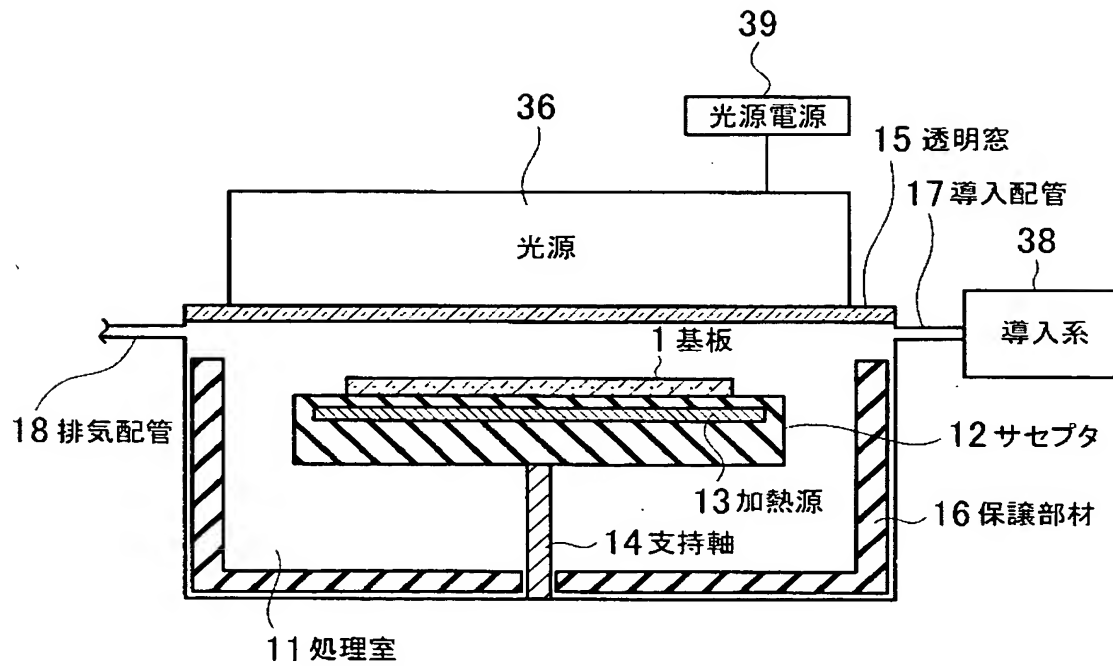
- 1、1 a 基板（S i 半導体基板）
- 2 レジスト膜
- 2 a、9 a 開口部
- 3 自然酸化膜
- 4、4 a、6 b、4 4 第 1 の絶縁膜
- 5、7 a、7 b、4 5 a、4 5 b 第 2 の絶縁膜
- 6、6 a、4 6 絶縁膜
- 8、8 a ～ 8 d 素子分離絶縁膜
- 9 ステンシルマスク
- 1 0 第 1 のカセット室
- 1 1 処理室
- 1 1 a 第 1 の処理室
- 1 1 b 第 2 の処理室
- 1 2 サセプタ
- 1 2 a、1 2 c 第 1 のサセプタ
- 1 2 b 第 2 のサセプタ
- 1 3 加熱源
- 1 4 支持軸
- 1 5 透明窓
- 1 5 a 第 1 の透明窓
- 1 5 b 第 2 の透明窓

- 1 6 保護部材
- 1 7 導入配管
 - 1 7 a 第 1 の導入配管
 - 1 7 b 第 2 の導入配管
- 1 8 排気配管
 - 1 8 a 第 1 の排気配管
 - 1 8 b 第 2 の排気配管
- 2 0 第 2 のカセット室
- 2 1、2 1 a 第 1 の処理装置
- 2 2、2 2 a 第 2 の処理装置
- 3 0 搬送室
- 3 1 搬送ロボット
- 3 3 回転軸
- 3 4 a、3 4 b ゲートバルブ
- 3 6 光源
 - 3 6 a、3 6 c 第 1 の光源
 - 3 6 b、3 6 d 第 2 の光源
- 3 8 導入系
- 3 9 光源電源
- 4 1 ドーピング層
- 5 0 犠牲酸化膜
 - 5 1 第 1 のイオン注入層
 - 5 2 第 2 のイオン注入層
- 5 3 ウェル
- 5 4 酸化膜
- 5 5 ゲート酸化膜
- 5 6 ゲート電極
- 5 7 a、5 7 b ソース／ドレイン領域
- 5 8 層間絶縁膜

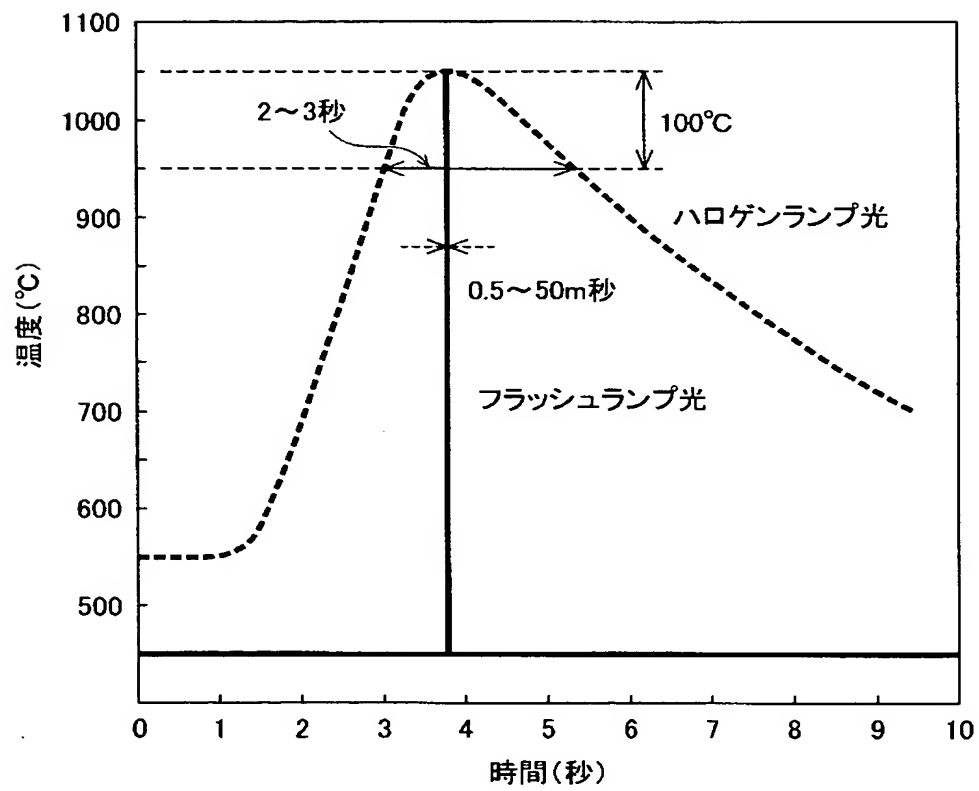
5 9 a ~ 5 9 c コンタクト電極

【書類名】 図面

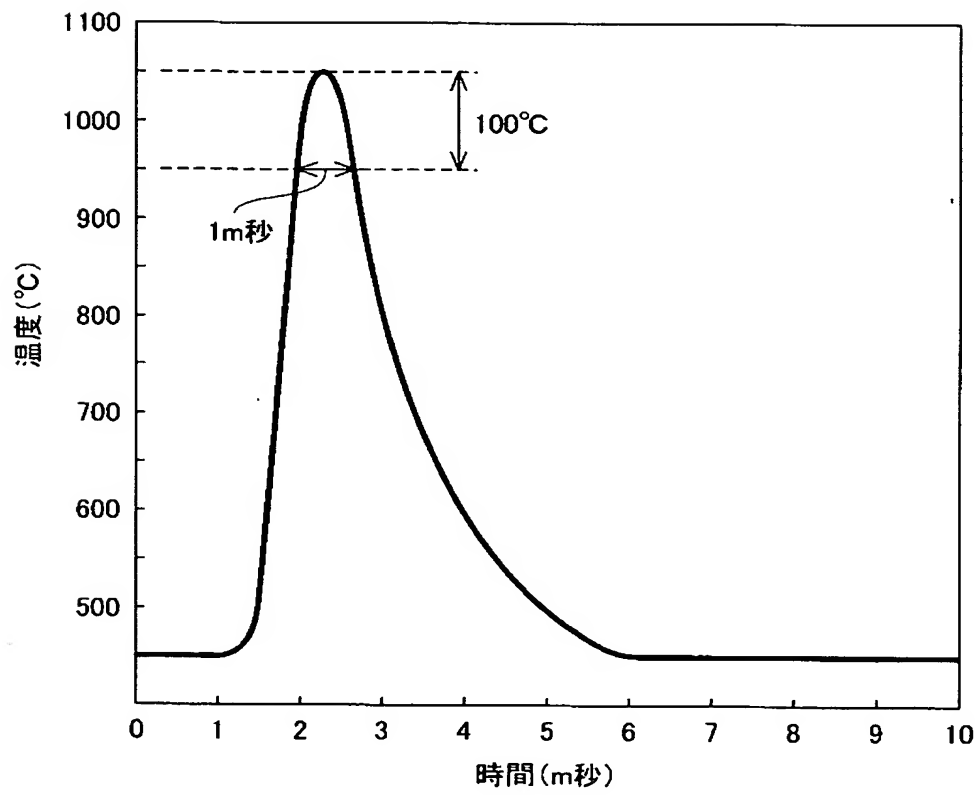
【図 1】



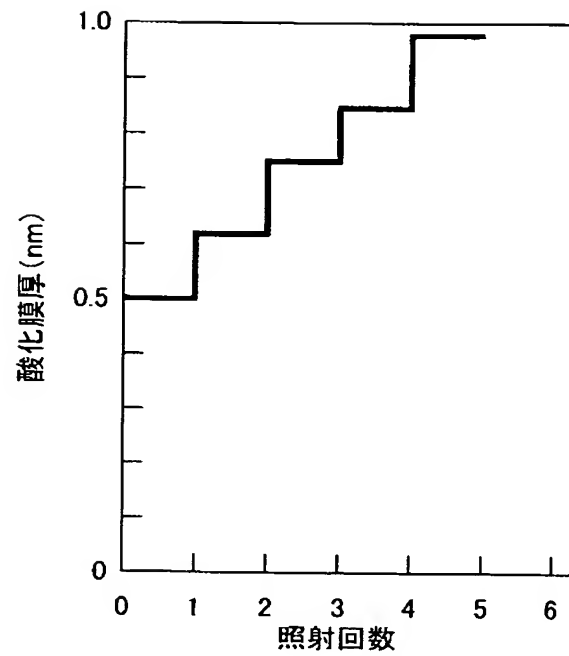
【図 2】



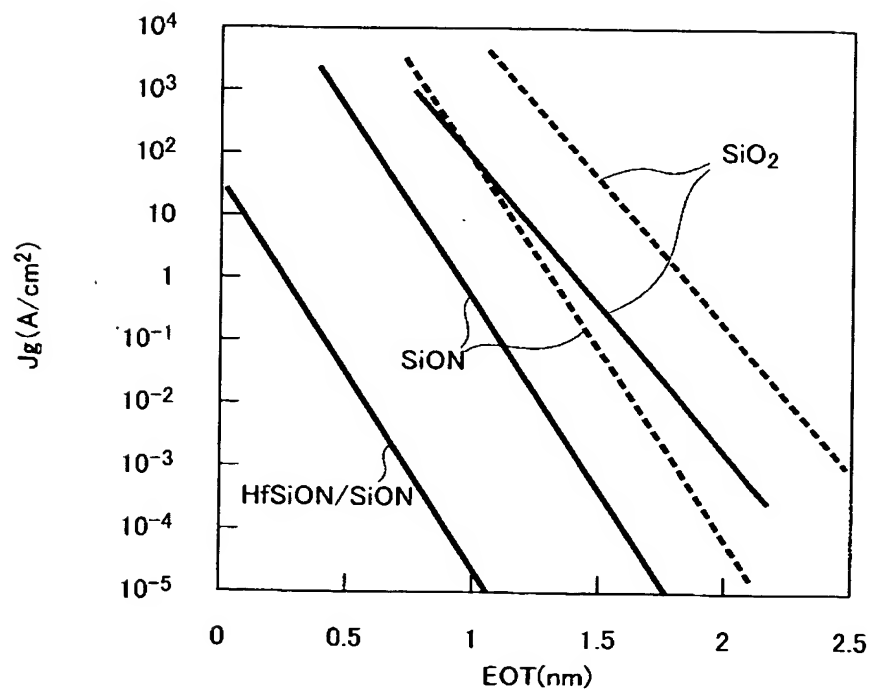
【図 3】



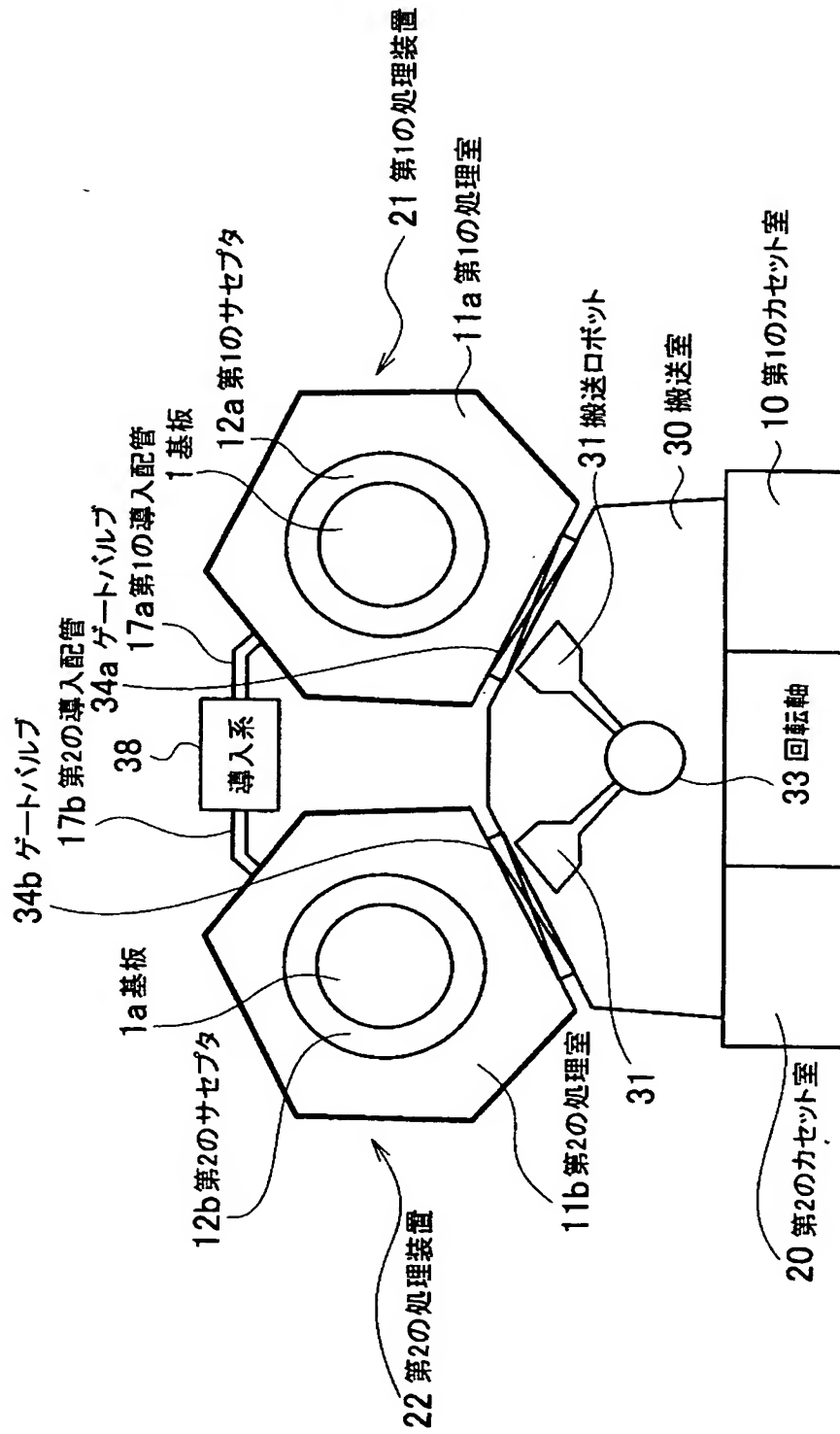
【図 4】



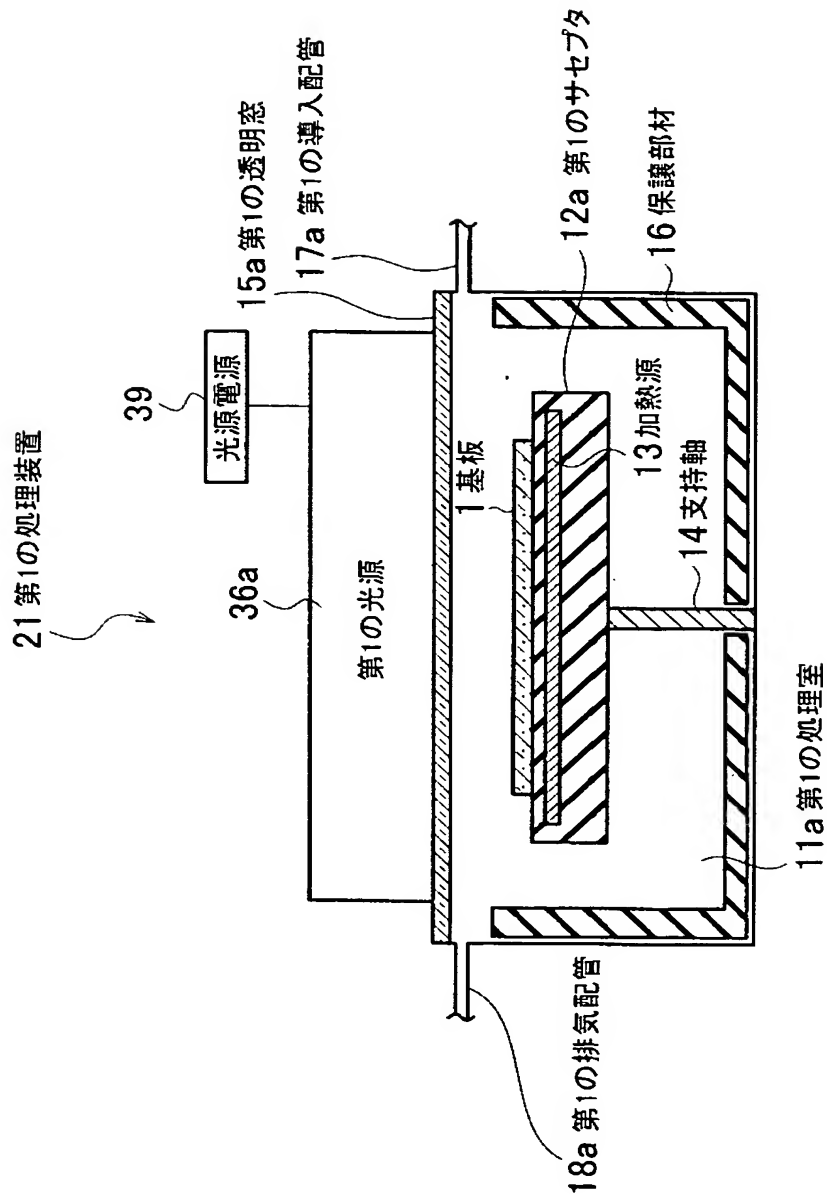
【図 5】



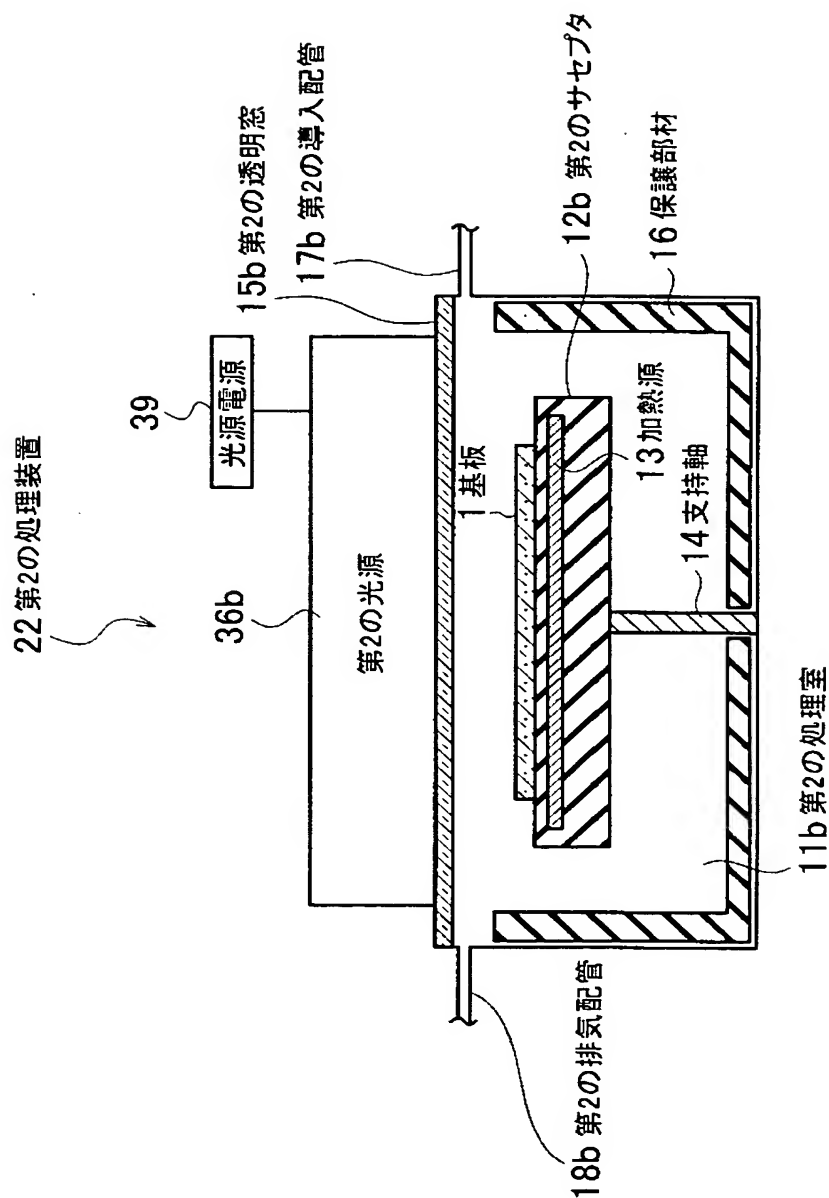
【図 6】



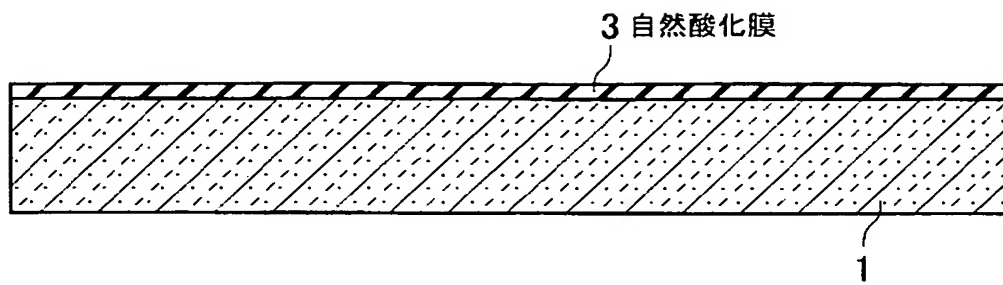
【図 7】



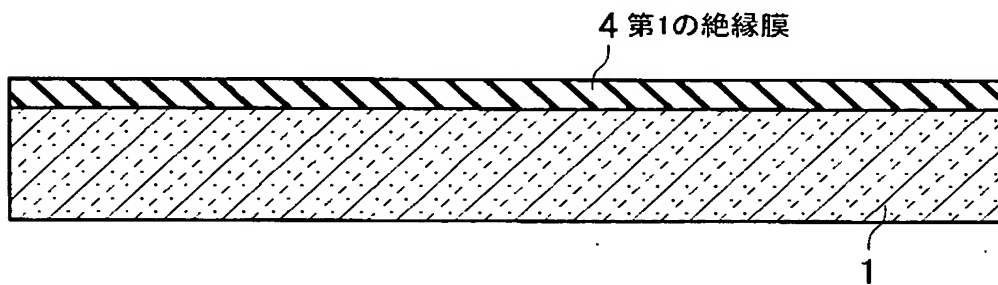
【図 8】



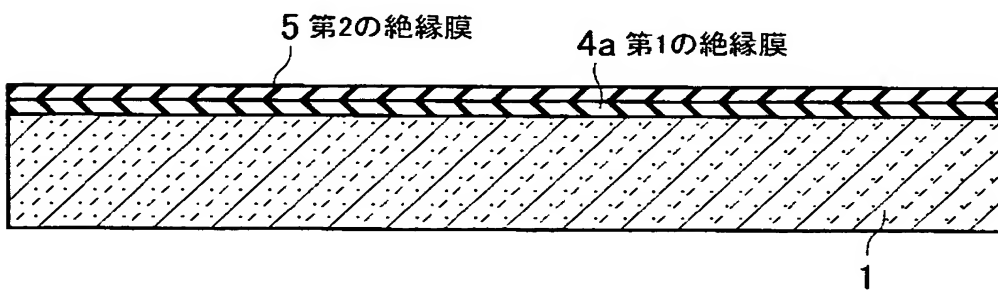
【図 9】



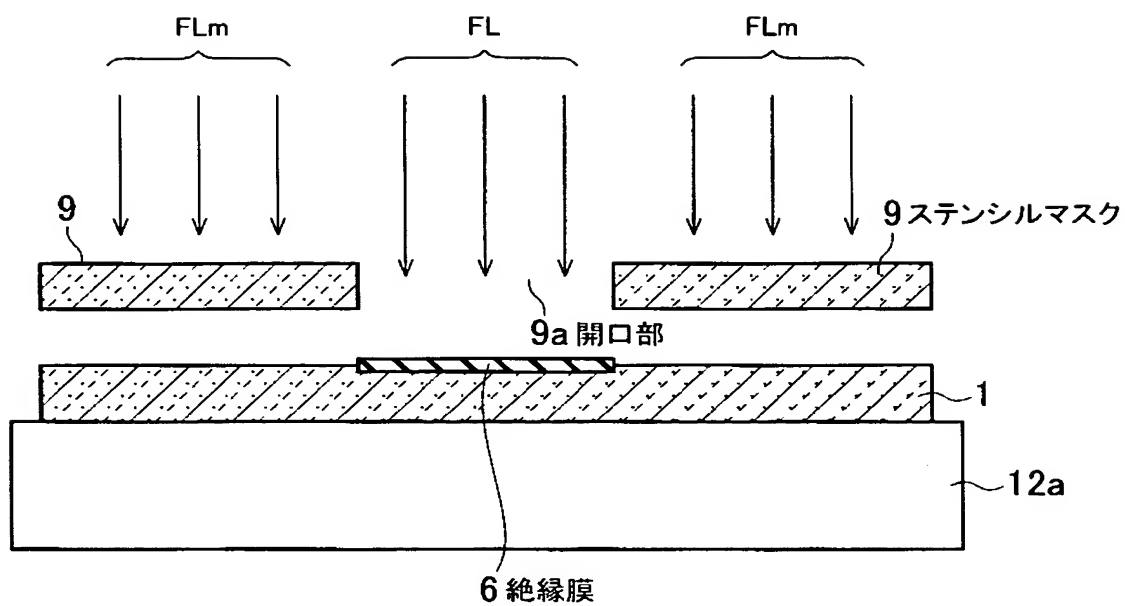
【図 10】



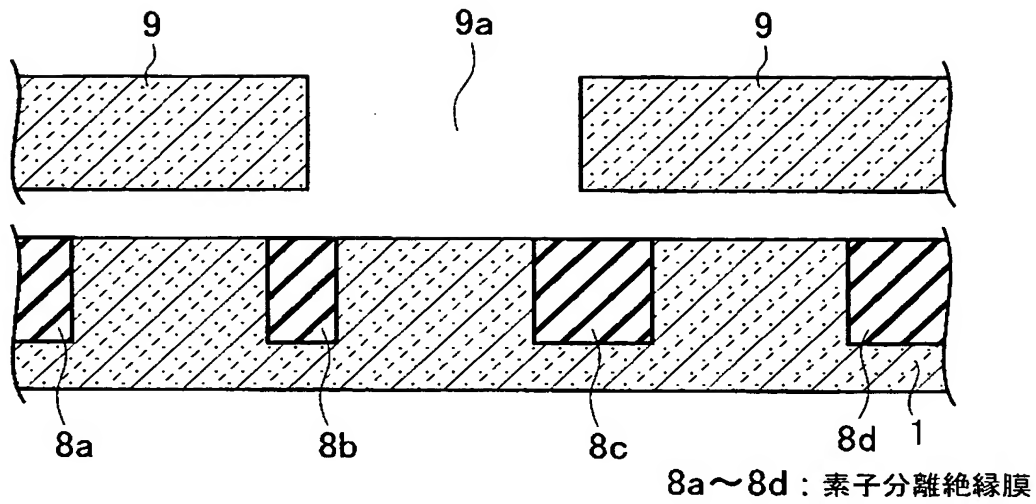
【図 11】



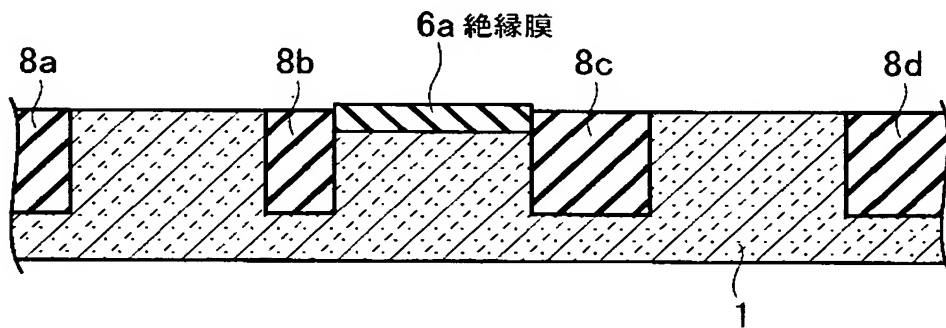
【図 12】



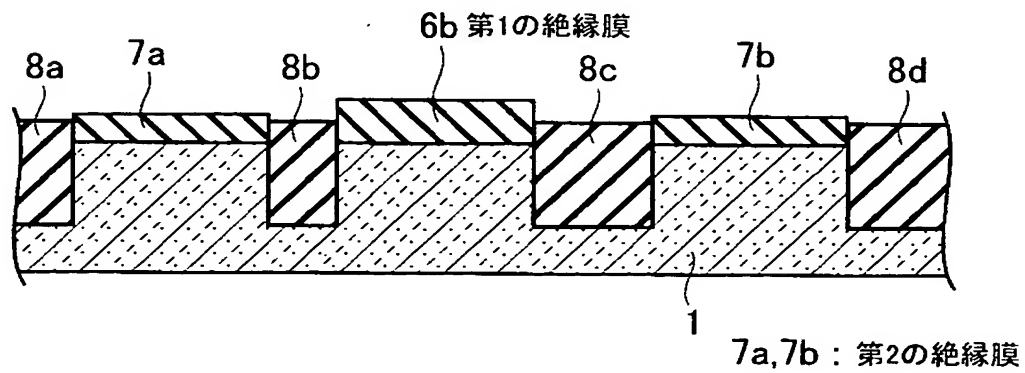
【図 13】



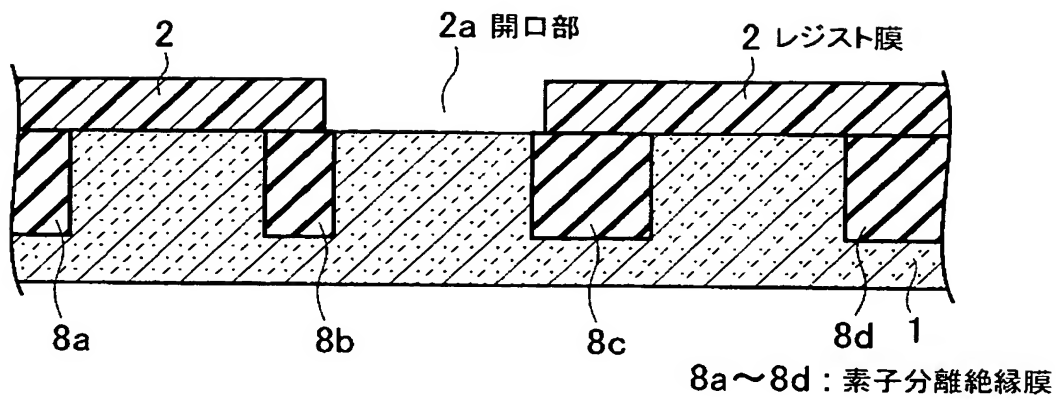
【図 14】



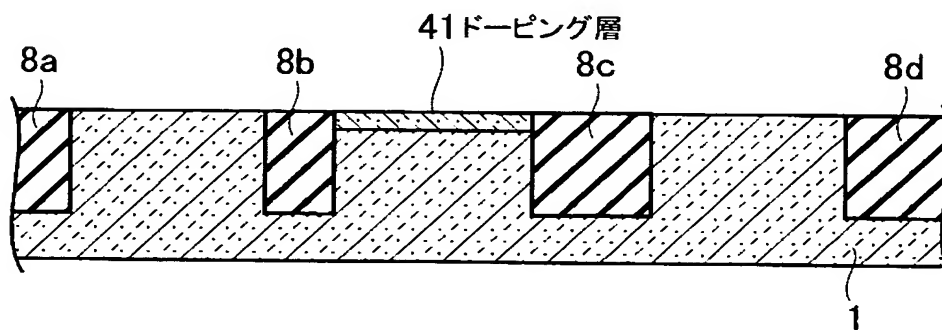
【図 15】



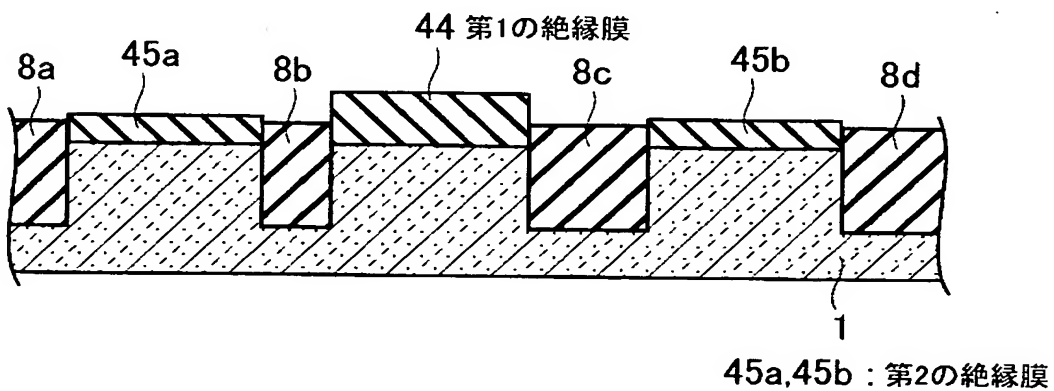
【図 16】



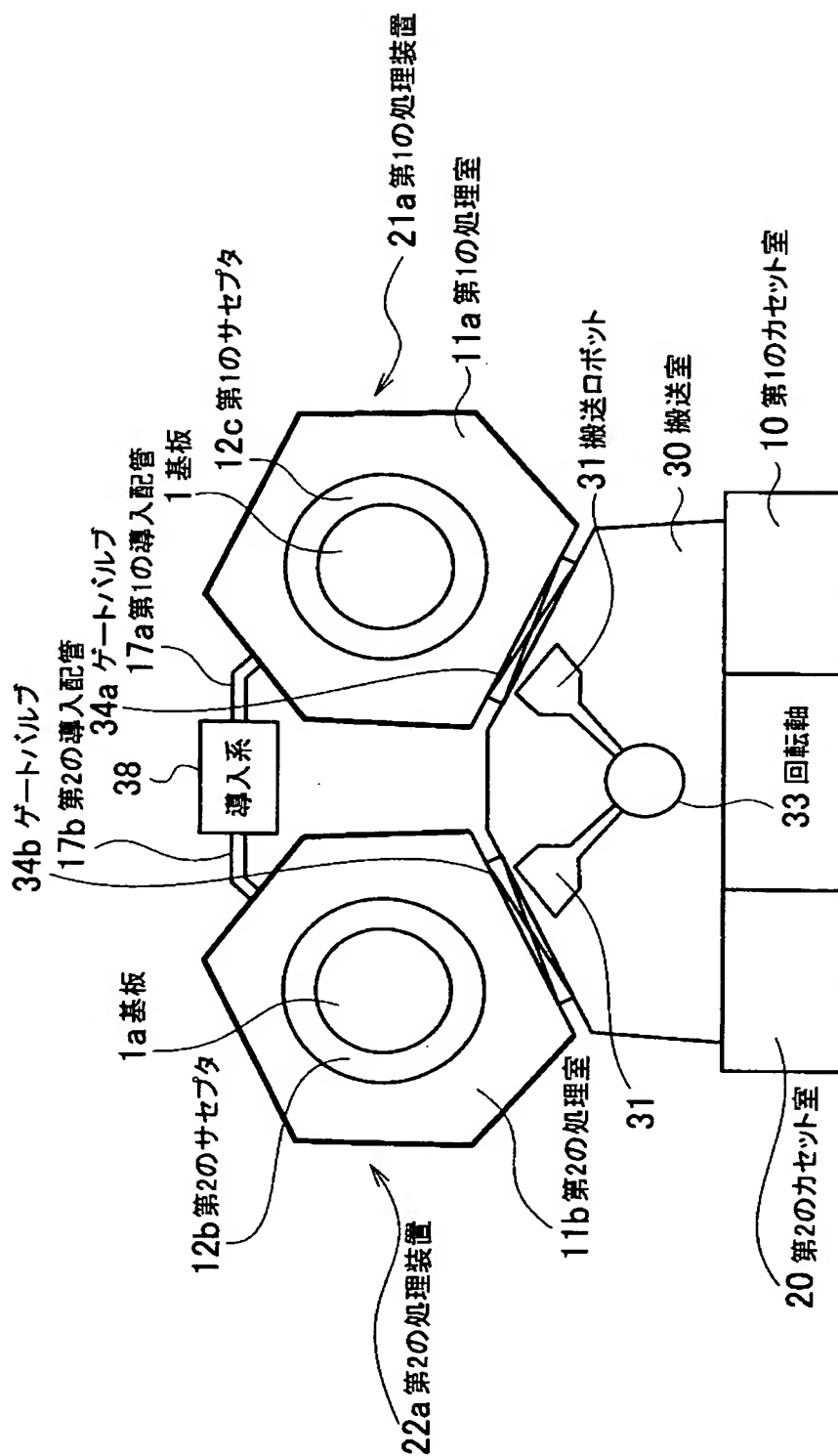
【図 17】



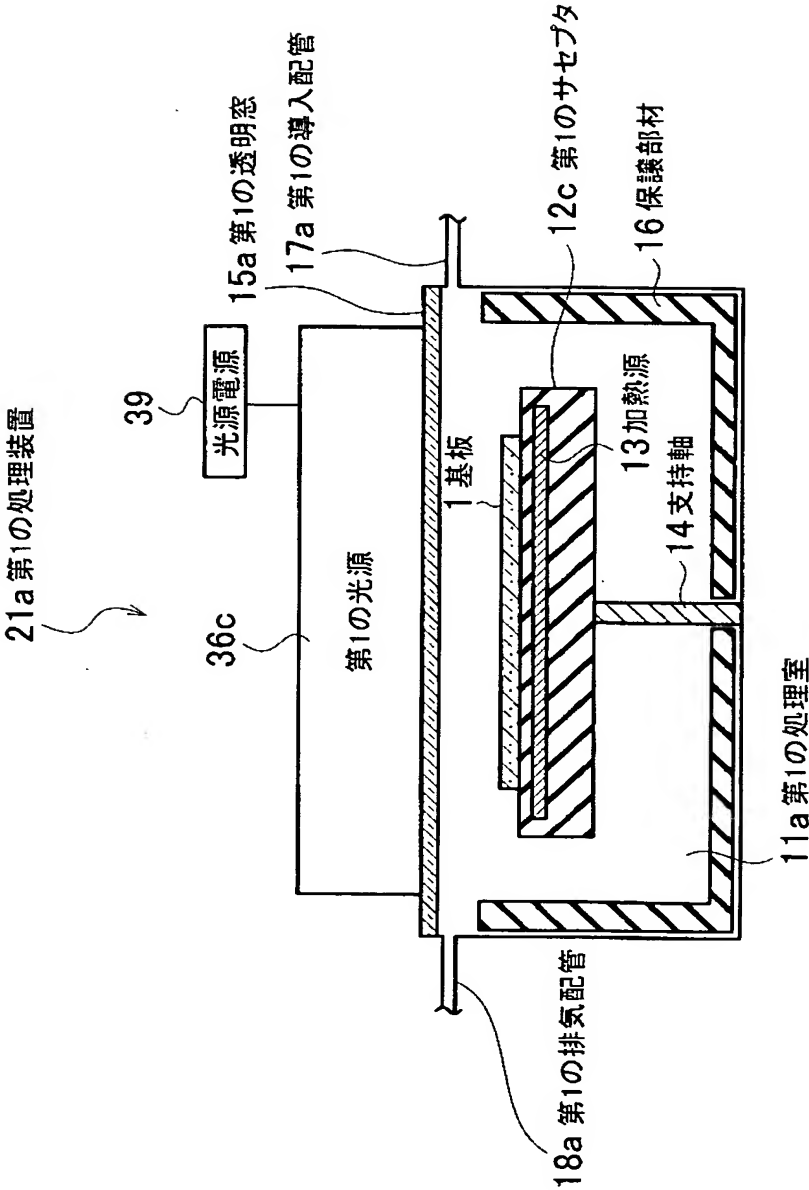
【図 18】



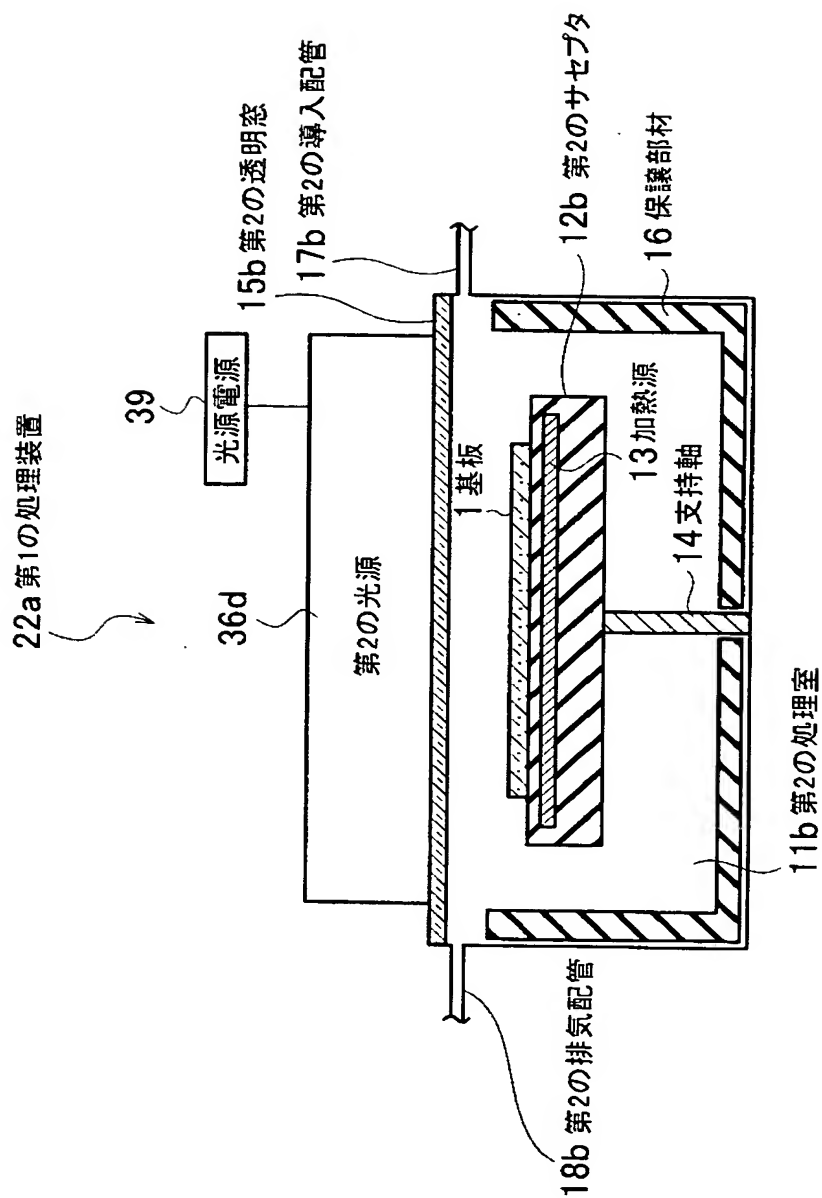
【図 19】



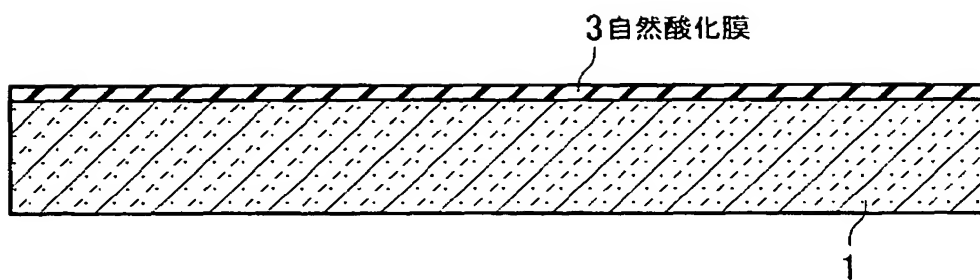
【図 20】



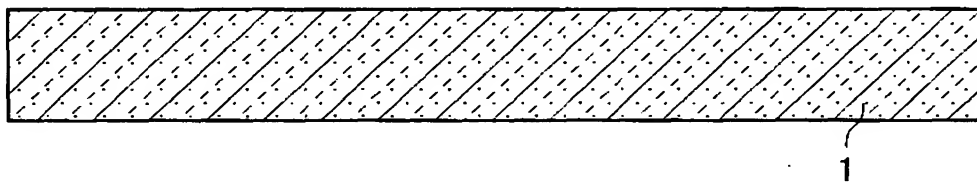
【図 21】



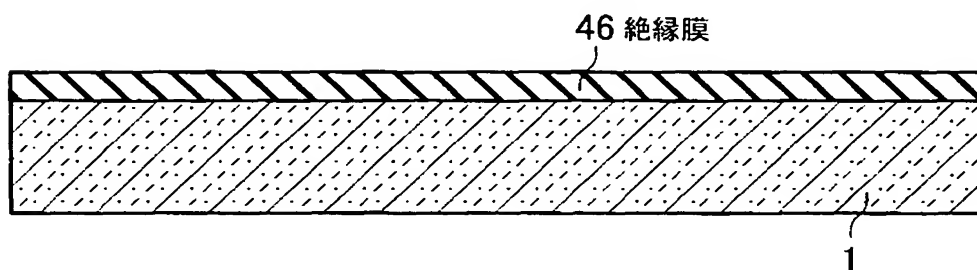
【図 2 2】



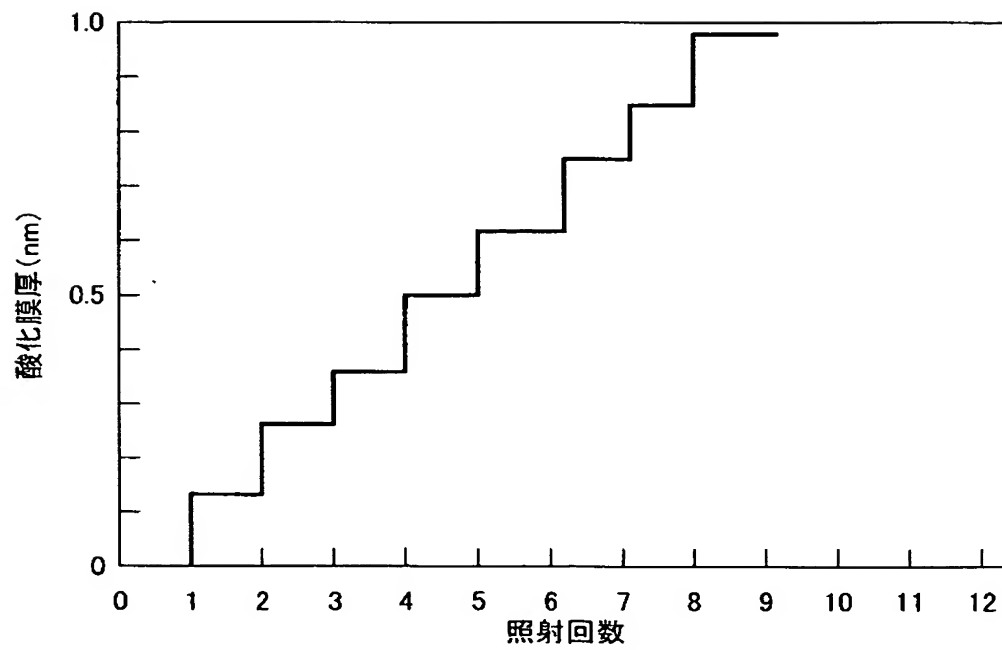
【図 2 3】



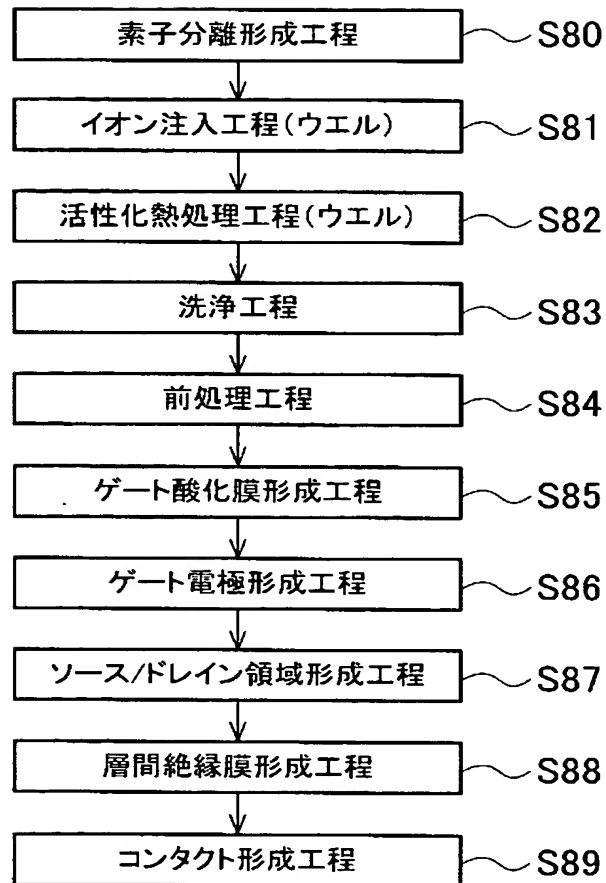
【図 2 4】



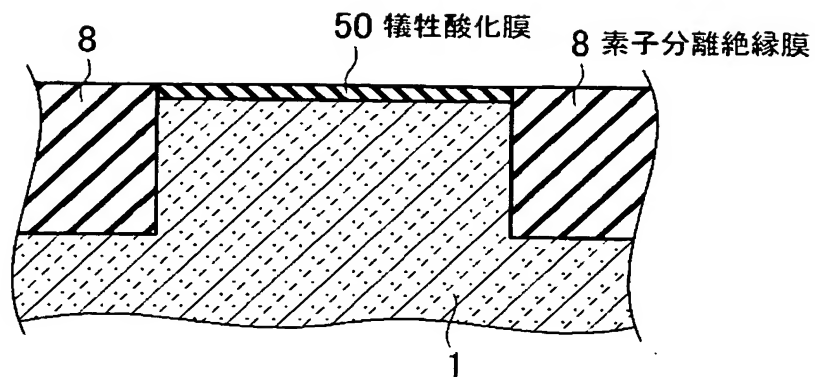
【図 25】



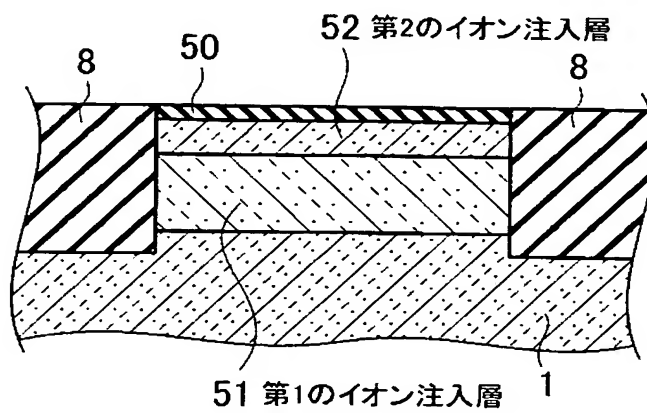
【図 26】



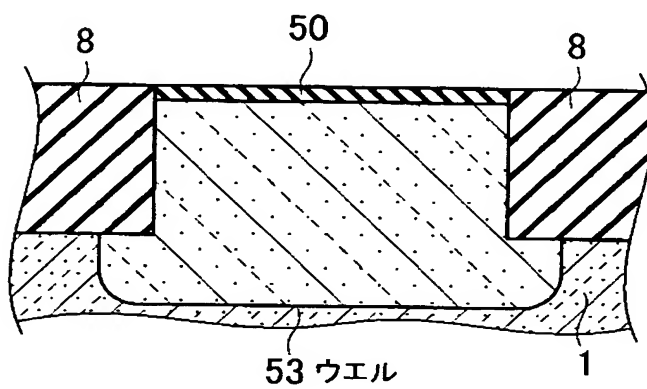
【図 27】



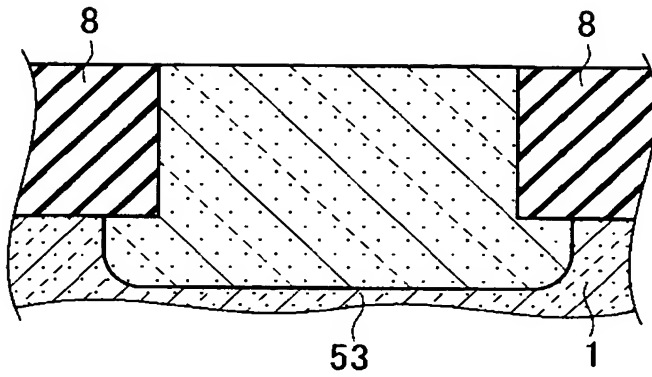
【図 28】



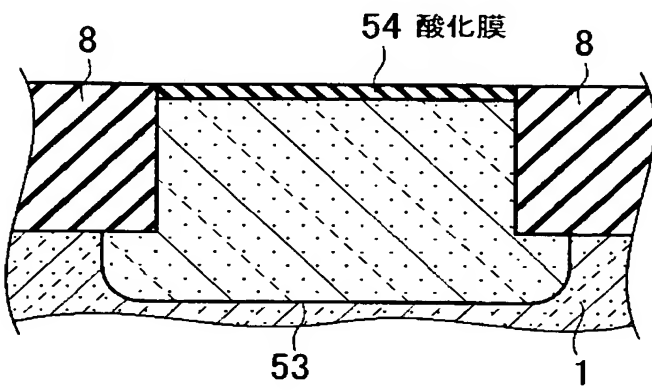
【図 29】



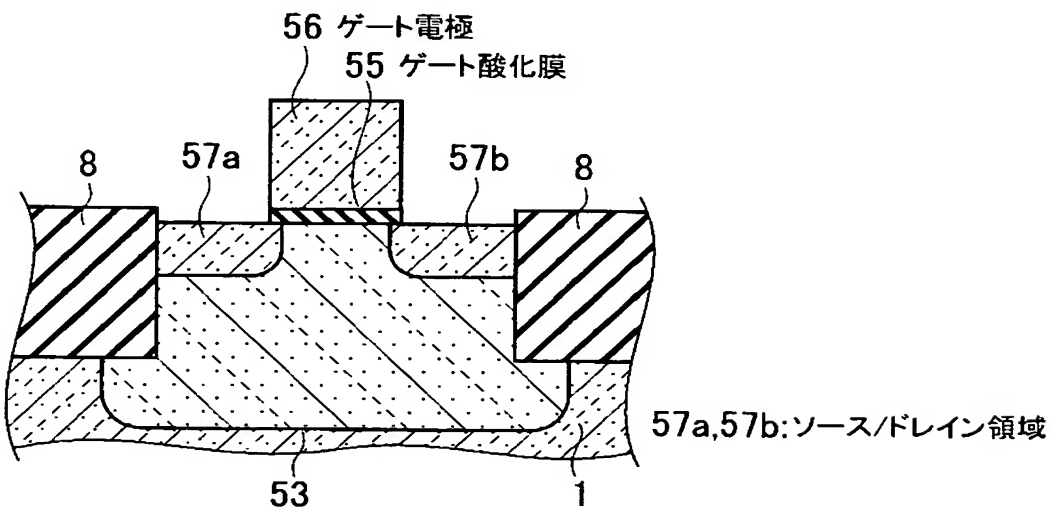
【図 30】



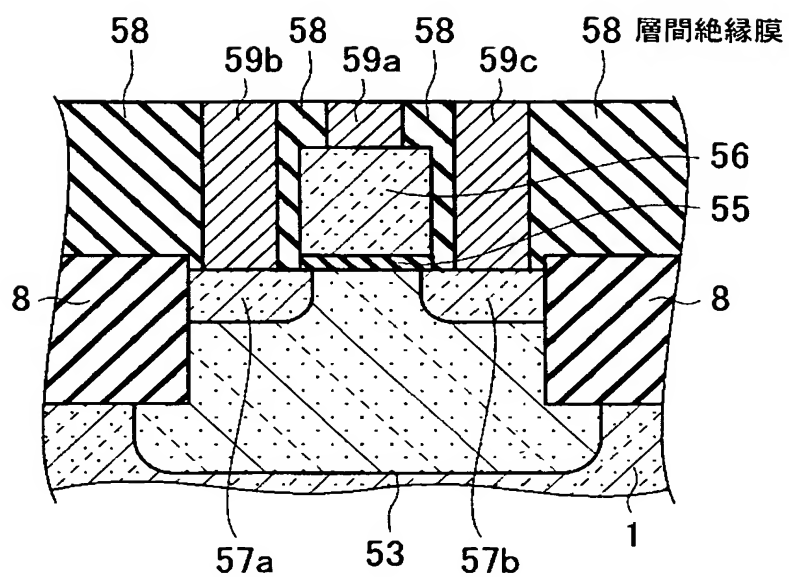
【図 31】



【図 32】



【図 33】



59a～59c: コンタクト電極



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 電気的特性が良好な極薄絶縁膜を形成することができる製造装置を提供する。

【解決手段】 基板 1 に処理を実施する処理室 11 と、処理室 11 内に配置され、基板 1 を載置して 650℃以下の加熱を行うための加熱源 13 を備えた表面が石英製のサセプタ 12 と、実質的に基板 1 表面と平行に少なくとも酸化ガス、窒化ガス、還元ガス及びハロゲンを含むガスのいずれかを供給する導入系 38 と、処理室 11 の上部にサセプタ 12 に対向して配置される透明窓 15 と、透明窓 15 から基板 1 表面を 0.1 m秒～200 m秒のパルス幅のパルス状に光照射する複数の発光波長を有する光源 36 とを備える。

【選択図】 図 1

特願 2003-181731

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000003078]

1. 変更年月日 2001年 7月 2日
 [変更理由] 住所変更
 住 所 東京都港区芝浦一丁目1番1号
 氏 名 株式会社東芝

2. 変更年月日 2003年 5月 9日
 [変更理由] 名称変更
 住所変更
 住 所 東京都港区芝浦一丁目1番1号
 氏 名 株式会社東芝